

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003年10月2日 (02.10.2003)

PCT

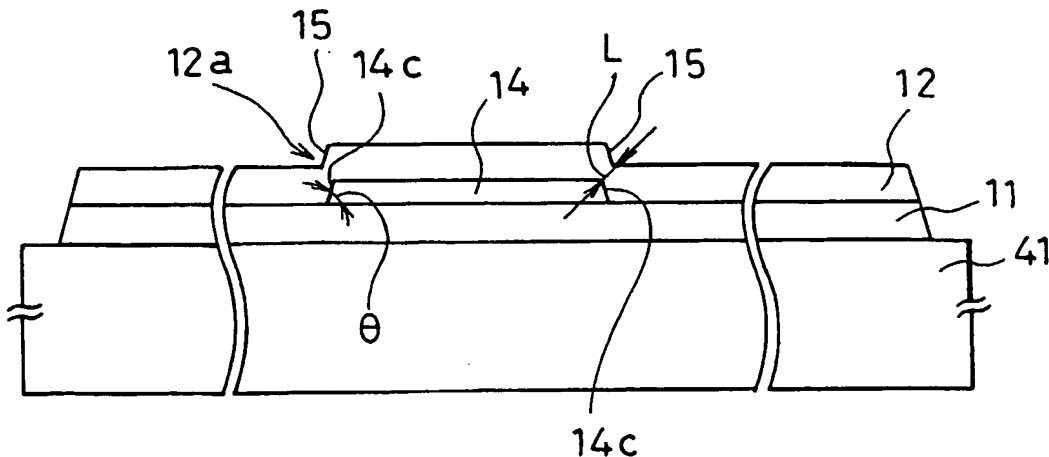
(10) 国際公開番号
WO 03/081271 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G01R 33/02 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/03546 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 村松 小百合 (MURAMATSU, Sayuri) [JP/JP]; 〒573-0057 大阪府枚方市堤町 3-7-404 Osaka (JP). 高橋 健 (TAKAHASHI, Ken) [JP/JP]; 〒535-0001 大阪府大阪市旭区太子橋 3-7-21 Osaka (JP). 戸崎 善博 (TOSAKI, Yoshihiro) [JP/JP]; 〒567-0834 大阪府茨木市学園南町 20-2-4 Osaka (JP). 村田 明夫 (MURATA, Akio) [JP/JP]; 〒631-0806 奈良県奈良市朱雀5丁目 1-1 Nara (JP).
(22) 国際出願日: 2003年3月24日 (24.03.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2002-89542 2002年3月27日 (27.03.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
(74) 代理人: 東島 隆治 (HIGASHIMA, Takaharu); 〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田3丁目2-14大弘ビル 東島特許事務所 Osaka (JP).
(81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIC SENSING ELEMENT, MAGNETIC SENSOR, AND ITS MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 磁気検出素子及び磁気検出器、及びその製造方法



(57) Abstract: A magnetic sensing element is constituted by sandwiching a conductor wire between a first magnetic core of a soft magnetic film and a second magnetic core with the cross-sectional area vertical to a magnetic path partially reduced. The conductor wire is supplied with a direct current, which generates a DC bias magnetic field and a high-frequency carrier signal. The direct current is so selected that a small cross-sectional area section of the second magnetic core shows a proper DC bias magnetic field strength. Placing this magnetic sensing element in an external magnetic field causes a change in the DC bias magnetic field strength by an external magnetic field strength and a change in the carrier signal level of the conductor wire. The change in the carrier signal level is extracted as a change in the electric signal, so that the strength and the direction of the magnetic field are detected.

(57) 要約: 軟磁性膜の第1の磁性コアと、磁路に垂直な断面の面積が部分的に小さくされた第2の磁性コアとの間に導体線を挟み磁気検出素子を構成し、導体線に直流バイアス磁界を生じさせる直流電流と高周波のキャリア信号を流す。直流電流は、前記第2の磁性コアの断面積の小さい部分が、適正直流バイアス磁界強度になるように選定される。この磁気検出素子を外部磁界中におくと、外部磁界強度により直流バイアス磁界強度が変化し、導体線のキャ

[続葉有]



添付公開書類：
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

磁 気 検 出 素 子 及 び 磁 気 検 出 器 、 及 び そ の 製 造 方 法

技 術 分 野

本発明は、磁気により検出導体のインピーダンスが変化する、磁気インピーダンス効果を利用した磁気検出素子及びその製造方法に関する。

背 景 技 術

微弱な磁気あるいは磁界を検出する磁気検出素子（磁気センサ）としては、従来から磁気抵抗効果型磁気センサ（以下、MRセンサ）が知られている。MRセンサでは、磁界の強さに応じてMRセンサの検出導体の抵抗値が変化する磁気抵抗効果を利用して磁界を検出する。磁気抵抗効果による検出導体の抵抗の変化は、磁界の方向を逆にした反転磁界の場合でも元の方向の磁界の場合と同じであるので、磁界の極性（N又はS）が検出できない。MRセンサにより磁界の極性を検出するためには、MRセンサにバイアス磁界を与えて、磁界による抵抗の変化が磁界の極性により異なるようにする。バイアス磁界を与えるためには、MRセンサの磁極の近傍に導体を設けてその導体に直流バイアス電流を流す方式や、永久磁石を磁極の両端に配置する方式などがある。MRセンサは外部磁界による導体の直流抵抗の変化により磁界を

検出するので、直流抵抗の変化が磁極の磁気材料により大きく影響を受けるが、磁界の検出感度は0.1%～3%/Oe程度でありあまり高いとはいえない。

MRセンサより高い検出感度を有する磁気センサとして、「磁気インピーダンス効果」を利用するものがある。この種の磁気センサでは、軟磁性体の透磁率が磁界強度（磁束密度）により変化し、透磁率の変化により磁気回路内の導体のインダクタンスが変化し、結果としてインピーダンスが変化する現象の磁気インピーダンス効果に基づいて磁界を検出する。この種の磁気センサの典型的なものの感度は6%/Oe以上である。

以下に、磁気インピーダンス効果を利用する磁気センサの従来例について説明する。

第1の従来例の磁気センサを図30及び図31を参照して説明する。図31は磁気検出装置の回路図、図30は磁気検出装置に組み込む第1の従来例の磁気センサの断面図である。図30を含むすべての図において、図を見やすくするため、断面にはハッチングを施していない。図30において、2つの磁性体1及び2を張り合わせて磁極を形成し、磁性体1及び2の間に導体線14をはさんでいる。図30の導体線14を図31に示す直流電源132に接続し、黒点を有する丸印4で示すように紙面に垂直に奥から手前に向かう直流電流を流すと、矢印5及び6で示す磁束が磁性体1及び2に生じ、直流バイアス磁界となる。この状態で、磁気センサを矢印100で

方向を示す外部磁界（以下、外部磁界 1 0 0 という）中におくと、磁性体 1 及び 2 を、それぞれ矢印 7 及び 8 で示す磁束（以下、それぞれ磁束 7 及び 8 という）が通る。磁性体 1 を通る磁束 7 は直流バイアス磁界の磁束 5 と同じ方向なので、導体線 1 4 の下部を通る磁束の密度は増える。一方磁性体 2 を通る磁束 8 は、直流バイアス磁界の磁束 6 と方向が逆であるので、磁性体 2 の導体線 1 4 の上部を通る磁束の密度は減少する。その結果、導体線 1 4 の近傍で、磁性体 1 の透磁率は低下し、磁性体 2 の透磁率は上昇する。磁性体 1 及び 2 の透磁率の変化は、外部磁界 1 0 0 の方向が逆になればそれぞれ逆になる。

第 1 の従来例の磁気センサでは、理論上は外部磁界 1 0 0 の方向を検出することはできない。しかしながら実験では検出感度は低い外部磁界 1 0 0 の方向を検出することができる。その理由は以下のように推測される。すなわち、外部磁界 1 0 0 の方向によって磁性体 1 及び 2 の、導体線 1 4 近傍における透磁率が変化する。この透磁率の変化により、導体線 1 4 のインダクタンスが変化する。導体線 1 4 に図 3 1 に示す高周波発振器 1 3 1 を接続して高周波電流を流すと前記インダクタンスの変化により導体線 1 4 のインピーダンスが変化する。インピーダンスの変化により導体線 1 4 の両端子 1 3 4、1 3 7 間の電圧が変化し、この電圧変化から外部磁界の強さと方向を検出することができる。

第 2 の従来例の磁気センサの断面図を図 3 2 に示す。

図において、非磁性体の基板 9 の上に、前記図 3 0 に示す第 1 の従来例と同様の磁性体 1 及び 2 と導体線 1 4 が設けられている。磁性体 2 を保護するために、保護膜 2 a を設けている。この構成の磁気センサを直流電流が流れるコイル 1 0 の中に挿入して直流バイアス磁界を与える。

図 3 3 は第 3 の従来例の磁気センサの断面図である。図において、基板 9、磁性体 1 及び 2、導体線 1 4 及び保護膜 2 a を有する磁気センサの構成は図 3 2 のものと同じである。第 3 の従来例では、永久磁石 1 8 によって直流バイアス磁界を与えている。

図 3 2 及び、図 3 3 に示す磁気センサでは、直流バイアス磁界の磁束が磁性体 1 及び 2 を同じ方向に通る。図 3 2 の磁気センサを外部磁界 1 0 0 の中におくと、磁性体 1 及び 2 内の、直流バイアス磁界による磁束 5 及び 6 の方向が、外部磁界 1 0 0 による磁束 7 及び 8 の方向と逆であるので、磁束 5 及び 6 の密度は減少する。その結果、磁性体 1 及び 2 の透磁率は増加し、導体線 1 4 のインピーダンスも増加する。逆に、この磁気センサを矢印とは逆の方向の外部磁界 1 0 0 中におくと、外部磁界による磁束が図の矢印 7 及び 8 とは逆の方向になり、直流バイアスによる磁束 5 及び 6 と同じ方向になる。その結果、磁束 5 及び 6 の密度は増加するので、磁性体 1 及び 2 の透磁率は減少し、導体線 1 4 のインピーダンスも減少する。外部磁界 1 0 0 の方向による、磁束 5 及び 6 の

密度の増減により、前記第1の従来例と同様にして外部磁界100の強さと方向を判別することができる。図33に示す磁気センサにおける、外部磁界100の方向判別の原理も図32のものと同じである。

図30に示す第1の従来例の磁気センサでは、外部磁界100の方向が矢印の方向の場合と、その逆の方向の場合とでの磁束密度の変化が比較的小さく、従って導体線14のインピーダンス変化も小さい。そのため外部磁界100の方向の検出感度が低く、かつ外部磁界の強さの検出感度も低い。

図32に示す第2の従来例の磁気センサでは、検出感度は高いものの、直流バイアス磁界を作るコイル7が大きくかつその消費電力も大きい。そのため小型かつ低消費電力の磁気センサを実現することはできない。

図33に示す第3の従来例の磁気センサは、永久磁石を用いるため、バイアス磁界の強さの調整が容易ではない。また永久磁石を取り付けるため重量が増えるとともに、永久磁石の取付スペースも必要なので、磁気センサを小型軽量にすることができない。

発明の開示

本発明は、外部磁界の強さと方向を高感度で検出できる小型軽量の磁気検出素子を提供することを目的とする。

本発明の磁気検出素子は、軟磁性膜の第1の磁性コア、前記第1の磁性コアの一部に形成された導体線、及び

前記第1の磁性コア及び導体線に前記導体線を挟んで形成された、磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第2の磁性コアを有する。

本発明の磁気検出素子では、導体線に磁気バイアス用の直流電流と高周波キャリア電流を流して磁気検出器を構成する。この磁気検出器において、前記第2の磁性コアの断面面積の異なる部分における磁界強度が「適正直流バイアス磁界強度」になるように、前記直流電流を設定する。適正直流バイアス磁界強度とは、磁気検出素子の第1及び第2の磁性コアを通るバイアス磁束による磁界強度と透磁率との関係を示す特性曲線において、磁界強度の変化に対する透磁率の変化が最も大きい磁界強度で定義される。第2の磁性コアの断面面積の異なる部分の磁界強度を前記の適正直流バイアス磁界強度に設定することにより、外部磁界による前記断面面積の異なる部分の磁界強度の変化量に対する透磁率の変化量が大きくなる。これにより磁界強度の検出感度が高い磁気検出器が得られる。透磁率の変化の方向（増加又は減少）は外部磁界の方向に応じて決まるので、透磁率の変化の方向から外部磁界の方向を検出することができる。

本発明の他の観点の磁気検出素子は、磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第1の磁性コア、前記第1の磁性コアの一部に形成された導体線、及び

前記第1の磁性コア及び導体線に前記導体線を挟んで形成された、前記導体線の縁部近傍の磁路に垂直な断面

の面積が他の部分より小さくなされた軟磁性膜の第2の磁性コアを有する。

本発明によれば、前記第2の磁性コアの断面積が小さくなされた部分の磁性強度が適正直流バイアス磁界強度になるように磁気バイアス用の直流電流を設定する。この磁気検出素子を外部磁界中においたとき、外部磁界による磁性コアの磁界強度の変化により、透磁率が変化して外部磁界の強さ及び方向を検出できる。

本発明の他の観点の磁気検出素子は、軟磁性膜の第1の磁性コア、前記第1の磁性コアの上の一部分に形成された導体線、及び前記第1の磁性コアの上に前記導体線を挟んで形成された、厚さが前記第1の磁性コアより薄い軟磁性膜の第2の磁性コアを有する。

本発明によれば、2つの磁性コアの一方を他方より薄くすることにより、薄い方の磁性コアの直流バイアスの磁束の密度が高くなる。薄い方の磁性コアの直流バイアスの磁界強度を適正直流バイアス磁界強度にすることにより、外部磁界の検出感度を高くすることができる。

本発明の他の観点の磁気検出素子は、軟磁性膜の第1の磁性コア、前記第1の磁性コアの上の一部分に形成された導体線、及び前記第1の磁性コアの上に前記導体線を挟んで形成された、厚さが前記第1の軟磁性コアより厚い軟磁性膜の第2の磁性コアを有する。

本発明によれば、2つの磁性コアの一方を他方より薄くすることにより、薄い方の磁性コアの直流バイアスの

磁束の密度が高くなる。薄い方の磁性コアの直流バイアスの磁界強度を適正直流バイアス磁界強度にすることにより、外部磁界の検出感度を高くすることができる。

本発明の他の観点の磁気検出素子は、軟磁性膜の第1の磁性コアの一方の面の所定領域に形成した第1の導体線、前記第1の磁性コアの他方の面の、前記第1の導体線に対向する領域に形成した第2の導体線、前記第1の磁性コアの前記一方の面と第1の導体線の上に形成した第2の磁性コア、及び前記第1の磁性コアの前記他方の面と前記第2の導体線の上に形成した第3の磁性コアを有する。

本発明によれば、第1の導体線と、第1及び第2の磁性コアにより、1つの磁気検出素子が構成される。また第2の導体線と第1及び第3の磁性コアにより他の1つの磁気検出素子が構成される。2つの磁気検出素子が積層されているので専有面積の少ない磁気検出素子が得られる。

本発明の磁気検出器は、磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第1の磁性コア、前記第1の磁性コアの一部に形成された導体線、前記第1の磁性コア及び導体線に前記導体線を挟んで形成された、磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第2の磁性コアを有する。前記磁気検出器は更に、前記第1及び第2の磁性コアに被検出磁界の方向に平行な方向のバイアス磁界を与える磁気バイアス手段、及び前記導体線に

前記被検出磁界に直交する方向に交流電流を流す交流キャリア信号発生器を有する。

本発明の磁気検出器によれば、前記導体線のインピーダンスが外部磁界により変化して、導体線の両端子間のキャリア信号レベルが変化するので、この変化に基づいて外部磁界を検出することができる。

本発明の他の観点の磁気検出器は、軟磁性膜の第1の磁性コアの一方の面の所定領域に形成した第1の導体線、前記第1の磁性コアの他方の面の、前記第1の導体線に対向する領域に形成した第2の導体線、前記第1の磁性コアの前記一方の面と第1の導体線の上に形成した軟磁性膜の第2の磁性コア、及び前記第1の磁性コアの前記他方の面と前記第2の導体線の上に形成した軟磁性膜の第3の磁性コアを有する。前記磁気検出器は更に前記第1、第2及び第3の磁性コアに被検出磁界の方向に平行な方向のバイアス磁界を与える磁気バイアス手段、及び前記第1及び第2の導体線に前記被検出磁界に直交する方向に交流電流を流す交流キャリア信号発生器を有する。

本発明によれば、第1の導体線と、第1及び第2の磁性コアにより、1つの磁気検出素子が構成される。また第2の導体線と第1及び第3の磁性コアにより他の1つの磁気検出素子が構成される。2つの磁気検出素子が積層されているので専有面積の少ない磁気検出器が得られる。

本発明の他の観点の磁気検出素子は、非磁性体の基板

上に形成された、略長方形の軟磁性体の膜の第1の磁性コア、前記第1の軟磁性コアの上に、前記長方形の第1の軟磁性コアの長手方向に直交する方向に所定の間隔をもって形成された複数の第1の導体線、前記第1の導体線をはさんで、前記第1の磁性コアの上に形成された第2の磁性コア、及び前記複数の第1の導体線を直列に接続した複数の第2の導体線を有する。

本発明によれば、同一基板に形成した第1及び第2の磁性コアと第1の導体線からなる磁気検出素子の複数のものの導体線を全て直列に接続している。従って、外部磁界による導体線のインピーダンス変化は、磁気検出素子の数に比例し、外部磁界の検出感度も磁気検出素子の数に比例する。

本発明の他の観点磁気検出素子は、非磁性基板上に並行して形成された、略長方形の複数の第1の磁性コア、前記複数の第1の磁性コアの上に、所定の間隔をもって、前記複数の第1の磁性コアの長手方向に垂直な方向に形成された複数の第1の導体線、前記複数の第1の磁性コアの上に、前記第1の導体線をはさんで、それぞれ形成された第2の磁性コア、及び前記複数の第1の導体線を直列に接続する第2の導体線を有する。

本発明によれば、同一基板に形成した第1及び第2の磁性コアと第1の導体線からなる磁気検出素子の複数のものの導体線を全て直列に接続している。従って、外部磁界による導体線のインピーダンス変化は、磁気検出素

子の数に比例し、外部磁界の検出感度も磁気検出素子の数に比例する。

本発明の磁気検出素子の製造方法は、非磁性体の基板に軟磁性体の膜を所望のパターンに成膜し、第1の磁性コアを形成する工程、前記第1の磁性コアの所定領域に所望のパターンの導電体の膜を成膜し、導体線を形成する工程、前記第1の磁性コアと導体線の上に軟磁性膜を所望のパターンに成膜し、第2の磁性コアを形成する工程、及び前記第2の磁性コアの所定部分の厚さを薄くする工程を有する。

本発明によれば、磁気検出素子を薄膜形成技術で製造することができるので、磁気検出素子を安価に大量生産できる。

本発明の他の観点の磁気検出素子の製造方法は、非磁性体の基板に軟磁性体の膜を所望のパターンに成膜し第1の磁性コアを形成する工程、前記第1の磁性コアの所定領域に所望のパターンの導電体の膜を成膜し、導体線を形成する工程、前記第1の磁性コアと導体線の上に軟磁性膜を所望のパターンに成膜し、第2の磁性コアを形成する工程、及び前記第2の磁性コアの所定部分の厚さを薄くする工程を有する。

本発明によれば、磁気検出素子を薄膜形成技術で製造することができるので、磁気検出素子を安価に大量生産できる。

本発明の磁気検出素子は、軟磁性膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの一部に形成された第1の導体線、前記第1の導体線に対して電氣的絶縁を保ちつつ前記第1の導体線に並行して形成された第2の導体線及び前記第1の磁性コアに前記第1及び第2の導体線を挟んで形成され、磁路に垂直な断面の面積が部分的に小さくなられた軟磁性膜の第2の磁性コアを有する。

本発明によれば、バイアス磁界用の直流電流が流れる導体線と高周波電流が流れる導体線が電氣的に絶縁されているので、磁気バイアス用の直流電源の電圧及び発振回路の電源端子の電圧を、それぞれ任意の値に選定することができる。

図面の簡単な説明

図1の(a)は本発明の第1実施例の磁気検出素子の平面図である。

図1の(b)は(a)のb-b断面図である。

図2の(a)から(c)は本発明の第1実施例の磁気検出素子の他の例を示すそれぞれの断面図である。

図3の(a)から(c)は本発明の第1実施例の磁気検出素子の動作を示す断面図である。

図4の(a)は本発明の第1実施例の磁気検出素子の他の例を示す断面図である。

図4の(b)は本発明の第1実施例の磁気検出素子の更に他の例を示す断面図である。

図5の(a)及び(b)はそれぞれ本発明の第1実施

例の磁気検出素子の更に他の例の平面図及び断面図である。

図 6 は本発明の第 1 実施例の磁気検出素子の更に他の例の断面図である。

図 7 は本発明の第 1 実施例の磁気検出素子の更に他の例の断面図である。

図 8 の (a) 及び (b) はそれぞれ本発明の第 1 実施例の磁気検出素子の更に他の例の平面図及び断面図である。

図 9 の (a) 及び (b) はそれぞれ本発明の第 1 実施例の磁気検出素子の更に他の例の平面図及び断面図である。

図 1 0 は本発明の第 2 実施例の磁気検出素子の斜投影図である。

図 1 1 の (a) から (c) はそれぞれ本発明の第 2 実施例の磁気検出素子の 3 つの例の断面図である。

図 1 2 の (a) から (f) は、本発明の第 2 実施例の磁気検出素子の各製造工程における断面図である。

図 1 3 の (a) から (g) は、本発明の第 2 実施例の他の例の磁気検出素子の各製造工程における断面図である。

図 1 4 は本発明の第 2 実施例の更に他の例の磁気検出素子の断面図である。

図 1 5 は本発明の第 2 実施例の更に他の例の磁気検出素子の断面図である。

図 1 6 の (a) から (c) は、本発明の第 3 実施例の磁気検出素子の 3 つの例のそれぞれの断面図である。

図 1 7 は本発明の各実施例における導体線断面の縦横比と周長の関係を表すグラフである。

図 1 8 の (a) から (e) は、本発明の第 4 実施例の磁気検出素子の 5 つの例のそれぞれの断面図である。

図 1 9 の (a) から (c) は、本発明の第 4 実施例の磁気検出素子の動作を示す断面図である。

図 2 0 は本発明の第 4 実施例の磁気検出素子の他の例の断面図である。

図 2 1 の (a) は本発明の第 5 実施例の磁気検出素子の平面図である。

図 2 1 の (b) は本発明の第 5 実施例の磁気検出素子の模型の斜視図である。

図 2 2 は本発明の第 6 実施例の磁気検出素子の平面図である。

図 2 3 は本発明の第 7 実施例の磁気検出素子の平面図である。

図 2 4 は本発明の第 8 実施例の磁気検出素子の平面図である。

図 2 5 は本発明の第 9 実施例の磁気検出素子の平面図である。

図 2 6 は本発明の第 1 0 実施例の磁気検出素子の平面図である。

図 2 7 は図 2 6 の磁気検出ユニット 1 5 0 の断面を示

す部分断面図である。

図 28 は本発明の第 10 実施例の磁気検出素子を用いて磁気検出器を構成する発振型の検出回路の回路図である。

図 29 は磁気検出器の磁性コア内の磁界強度 (H) と透磁率 (E) との関係を示す特性曲線である。

図 30 は第 1 の従来例の磁気検出素子の断面図である。

図 31 は本発明の各実施例及び従来例の磁気検出素子の導体線に接続して磁気検出器を構成する、アンプ型の検出回路の回路図である。

図 32 は第 2 の従来例の磁気検出素子の断面図である。

図 33 は第 3 の従来例の磁気検出素子の断面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の磁気検出素子の好適な実施例を図 1 から図 29 を参照して詳細に説明する。図 1 から図 29 に含まれる磁気検出素子の断面図では、図を見やすくするために断面にハッチングを施していない。

《第 1 実施例》

図 1 の (a) は本発明の第 1 実施例の磁気検出素子の平面図、同 (b) は (a) の b-b 断面図である。図 1 の磁気検出素子は、セラミックス等の非磁性体の基板 41 の上に、軟磁性の膜による第 1 の磁性コア 11 を帯状に形成している。磁性コア 11 の中央部分に薄膜の導体

線 1 4 を形成し、磁性コア 1 1 と導体線 1 4 の上に軟磁性の膜による第 2 の磁性コア 1 2 を形成している。すなわち磁性コア 1 1 と磁性コア 1 2 の間に導体線 1 4 が挟み込まれ、導体線 1 4 の両端部 1 3 4、1 3 7 は外部に導出されている。磁性コア 1 2 は導体線 1 4 によって生じる段部 1 2 a を有している。磁性コア 1 2 の段部 1 2 a は他の部分より薄くなされ、厚さ L は他の部分の厚さの約 $1/2$ になされている。これにより磁性コアには、段部 1 2 a において磁路に垂直な断面の面積が他の部分より小さくなる。段部 1 2 a の厚さ L を減らすために図 1 の (b) に示すように、導体線 1 4 の縁部 1 4 c の磁性コア 1 1 の面に対する角度 θ を 90 度に近づけるのが望ましい。角度 θ を 90 度に近い値にする加工は、磁性コア 1 1 の上に導体膜を形成しフォトレジストにより導体線 1 4 となる部分を残してエッチングするとき、レジスト膜の材質や厚さ及びエッチング条件等を適正に選定することにより可能である。またよく知られたリフトオフ工法を用いてもよい。段部 1 2 a の厚さ L を減らすために、磁性コア 1 2 を形成するとき、磁性膜の成膜条件を調節して、導体線 1 4 の縁部 1 4 c に形成される磁性膜の厚さを薄くすることも可能である。

本実施例の磁気検出素子では、段部 1 2 a の厚さ L を減らして磁性コア 1 2 の磁路に垂直な断面の面積を他の部分より小さくしている。薄膜形成技術では、導体線 1 4 の縁部 1 4 c の近傍で厚さ L を減らすのが最も簡単で

あり加工コストも安い。磁性コア 1 2 の段部 1 2 a の厚さ L と、磁性コア 1 2 の他の部分との厚さの比は 3 対 4 以下であるのが好ましい。磁性コア 1 1 及び 1 2 はともに厚さ $1.5 \mu\text{m}$ の FeTaN を用いた軟磁性体膜である。導体線 1 4 は左右の幅が $10 \mu\text{m}$ 、厚さが $1 \mu\text{m}$ の銅の膜である。表面をラッピング処理した後の厚さ L は $0.7 \mu\text{m}$ 、角度 θ は 70 度である。後で詳しく説明するが、導体線 1 4 と、磁性コア 1 1 及び 1 2 との間には絶縁層を介在させるのが望ましい。

図 2 の (a)、(b) 及び (c) は、本実施例の磁気検出素子の他の構成を示す断面図である。図 2 の (a)、(b)、(c) では、図 1 に示す基板 4 1 の図示を省略している。

図 2 の (a) の構成では、導体線 1 4 の中央領域において、磁性コア 1 2 に紙面に垂直な方向の溝 2 1 を形成して磁性コア 1 2 の厚さを部分的に薄くして磁路に垂直な断面の面積（以下、単に断面積という）を小さくしている。これによって、図 1 の (b) に示す、段部 1 2 a の厚さ L を薄くした場合と同じ作用・効果が得られる。溝 2 1 はエッチング等により一部を除去すればよいので加工工程が簡単である。

図 2 の (b) の構成では、導体線 1 4 の縁部 1 4 c の近傍の磁性コア 1 2 に紙面に垂直な方向の溝 2 2 を形成して厚さ L を小さくしている。図 2 の (c) の構成では、導体線 1 4 の縁部 1 4 c 近傍の磁性コア 1 2 に紙面に垂

直な方向の溝 2 3 を形成している。更に導体線 1 4 を囲む部分の磁性コア 1 2 が、両端部の磁性コア 1 2 d から分離されるように、磁性コア 1 1 の面に達する溝 2 4 を形成して断面積を小さくしている。前記の溝 2 1、2 2、2 3 及び 2 4 は、イオンシリング加工、ウェットエッチング加工、レーザー加工等によっても形成することができる。

本実施例の磁気検出素子の動作を図 3 の (a)、(b)、(c) を参照して説明する。図 3 (a) ~ (c) に示す磁気検出素子 3 1 は、図 2 の (b) に示すものと同じ構成である。図 3 の (a) において、磁気検出素子 3 1 を矢印 1 0 0 で示す方向の磁界（以下、外部磁界 1 0 0 という）中におくと、磁気検出素子 3 1 の左端から矢印 3 2、3 3 で示す磁束（以下、磁束 3 2、3 3 という）が流入する。磁性コア 1 1 と 1 2 は、材質が同じで厚さもともに $1.5 \mu\text{m}$ と同じであるので、磁束 3 2 と 3 3 の磁束密度及び磁束の量はほぼ等しい。磁束 3 2 と 3 3 はそれぞれ磁性コア 1 1 及び 1 2 内を右方に進み、溝 2 2 の部分に至る。溝 2 2 によって、磁性コア 1 2 の厚さが薄くなされているので、磁性コア 1 2 の磁束が通過する部分である磁路 3 4 及び 3 5 は他の部分より断面積が小さく通常磁束密度が大きくなる。磁束密度と透磁率の関係は、磁束密度が増加すれば透磁率が低下する。透磁率の低下により溝 2 2 の近傍の導体線 1 4 のインダクタンスが減少する。

図 3 の (b) 及び (c) は、図 3 1 に示すように、本実施例の磁気検出素子 3 1 の導体線 1 4 の両端 1 3 4、1 3 7 を、高周波発振器 1 3 1、直流電源 1 3 2 及び高周波増幅器 1 3 9 を有するアンプ型の検出回路に接続したときの動作を示す断面図である。このように構成したものを「磁気検出器」という。図 3 の (a) 及び (b) において、図 3 1 の回路の高周波発振器 1 3 1 のみを動作させて導体線 1 4 に紙面に垂直な方向に交流電流（キャリア電流）を流す。交流電流による磁束を点線 3 7（以下、磁束 3 7 という）で示す。磁束 3 7 は導体線 1 4 を囲むように形成される。磁路の大部分を占める磁性コア 1 1 及び 1 2 e の透磁率は高いので、導体線 1 4 のインダクタンスは比較的高い。インダクタンスを高く保つために、磁路 3 7 の長さは比較的に短い方がよい。導体線 1 4 のインダクタンスは磁性コア 1 1 及び 1 2 e の透磁率に比例するため、インダクタンスは矢印 1 0 0 で示す外部磁界の強さに応じて変化する。導体線 1 4 のインダクタンスの変化により、導体線 1 4 のインピーダンスが変化して、キャリア電流の振幅が変化する。キャリア電流の振幅の変化による導体線 1 4 の両端 1 3 4、1 3 7 の出力電圧を図 3 1 に示す高周波増幅器 1 3 9 で増幅し検波した出力のキャリア信号レベルによって外部磁界の強さを検出することができる。図 2 の (a) に示す構成の磁気検出素子は溝 2 1 が 1 つなので、高周波電流による磁束が通りやすく、導体線 1 4 のインダクタンスは

高い。従って磁界の検出感度は図 2 の (b) の磁気検出素子より高い。

図 3 の (b) に示す磁気検出器は、外部磁界 1 0 0 の方向が図の矢印方向と逆の左向きの場合でも、同じレベルの出力が得られる。従って外部磁界 1 0 0 の方向を判別することができない。次に方向の判別をするためのバイアス磁界について説明する。

図 3 の (c) は、導体線 1 4 に、図 3 1 に示す直流電源 1 3 2 により、紙面に垂直に手前から奥に向かう方向の直流バイアス電流を流した場合の直流バイアス磁束 3 8 を示す断面図である。磁性コア 1 1 と 1 2 には互いに逆方向に直流バイアス磁束が通るので、透磁率の差は少ない。導体線 1 4 には高周波発振器 1 3 1 によりキャリア電流も流す。導体線 1 4 を流れるキャリア電流によって導体線 1 4 の両端に高周波電圧であるキャリア信号が生じる。導体線 1 4 の周囲の磁性コア 1 1 と 1 2 を通る直流バイアス磁束 3 8 により直流バイアス磁界が生じる。磁性コア 1 2 において、磁路 3 4 及び 3 5 は他の部分に比べて断面積が少ないため、直流バイアスの磁束密度は高い。図 2 9 は直流バイアス磁界が与えられた磁気検出素子 3 1 において、磁性コア 1 1 e、1 2 e を通る直流バイアス磁束による磁界強度 (H) と、磁性コア 1 1 及び 1 2 の透磁率 (E) との関係を示す特性曲線 2 5 6 である。横軸の (+)、(-) は外部磁界 1 0 0 の方向に対する直流バイアス磁束 3 8 の方向を示しており、

(+) は同方向、(-) は逆方向である。図 29 の特性曲線 256 において、直流バイアス磁界 255 の磁界強度 H が特性曲線 256 の勾配の最も大きい部分の磁界強度 H_a になるように導体線 14 に流す直流電流値を設定すると、磁界強度 (H) の変化による磁性コア 11 及び 12 の透磁率 (E) の変化が最も大きくなる。この状態になる直流バイアス磁界の強さを「適正直流バイアス磁界強度 H_a 」という。

図 3 の (c) に示す磁性コア 12 において、磁路 34 及び 35 では、磁路の断面積が他の部分より小さいため、直流バイアスの磁束 38 の密度は他の部分より高く、従って磁界強度も大きい。直流バイアス電流の調節により磁路 34、35 の磁界強度が適正直流バイアス磁界強度 H_a になるようにする。このとき磁路 34、35 より断面積の大きい磁性コア 11、12 の他の部分の磁界強度は適正直流バイアス磁界強度 H_a より低い。

図 3 の (c) において、導体線 14 を囲む磁性コア 11e、12e のそれぞれの磁束、及び溝 22 の磁路 34、35 を通る磁束のそれぞれの密度によって定まる磁界強度を、それぞれ H_{11} 、 H_{12} 、 H_{22} で表す。図 29 を参照して外部磁界 100 の強さ及び方向が変化するときの磁界強度 H_{11} 、 H_{12} 、 H_{22} の変化を説明する。

図 29 において、外部磁界 100 が無いとき、磁路 34、35 は適正直流バイアス磁界強度 H_a になされているので磁界強度 H_{22} は H_a に等しい ($H_{22} = H_a$)。

このとき磁路 3 4、3 5 より断面積の大きい磁性コア 1 1 e、1 2 e の直流バイアス磁束の密度は、磁路 3 4、3 5 の磁束密度より低いので、図に示すように磁界強度 H_{11} 、 H_{12} も磁界強度 H_{22} より低い。 E_{22} は磁界強度 H_{22} に対応する透磁率である。 E_{11} は磁界強度 H_{11} に対応する透磁率であり、 E_{12} は磁界強度 H_{12} に対応する透磁率である。このとき導体線 1 4 のインピーダンスは、磁界強度 H_a に対応する透磁率 E_{22} によって決まる値となる。

この状態にある磁気検出器を図 3 の (c) のように外部磁界 1 0 0 の中に置くと、外部磁界 1 0 0 による磁束 3 6 が磁性コア 1 1 を通り、磁束 3 3 a が磁性コア 1 2 を通る。磁束 3 6、3 3 a によって、図 2 9 に示すように、磁界強度 H_{11} 、 H_{12} 、 H_{22} がそれぞれ矢印で示すように変化する。すなわち磁界強度 H_{11} は減少して H_{11a} となり、磁界強度 H_{12} 、 H_{22} は共に増加してそれぞれ磁界強度 H_{12a} 、 H_{22a} となる。透磁率 E_{11} 、 E_{12} 、 E_{22} は共に低下し、それぞれ透磁率 E_{11a} 、 E_{12a} 、 E_{22a} となる。その結果導体線 1 4 の両端子 1 3 4、1 3 7 間のインピーダンスは低下し、キャリア信号のレベルは低下する。

外部磁界の方向が、図 3 の (c) で右から左へ向かう矢印 2 0 0 の方向の場合、図 2 9 において、磁界強度 H_{11} は増加して H_{11b} となる。磁界強度 H_{12} 、 H_{22} は共に減少してそれぞれ磁界強度 H_{12b} 、 H_{22b}

となる。磁界強度 H_{11} 、 H_{12} の変化は透磁率の変化にわずかしき寄与しないが、磁界強度 H_{22} が H_{22b} に変化した結果、透磁率 E_{22} は大きく増加して透磁率 E_{22b} となる。このように外部磁界の方向が変わると、図 3 の (c) において、溝 22 によって断面積が小さくなった磁路 34、35 の透磁率が大きく変化することから、外部磁界 100 の方向を検出することができる。透磁率の変化に比例する導体線 14 のインピーダンスの変化により、導体線 14 の両端子 134、137 間のキャリア信号のレベルが変わる。このキャリア信号の高周波電圧を高周波増幅器 139 で増幅し検波することにより、外部磁界 100 の方向及び強さを電気信号として検出することができる。

本実施例の磁気検出素子の他の例として図 4 の (a)、(b) 及び図 5 の (a)、(b) に示すものがある。図 4 の (a) の磁気検出素子は、導体線 14 の下側の磁性コア 11 の膜厚を上側の磁性コア 12 の膜厚より薄くして断面積を小さくしている。

図 4 の (b) の磁気検出素子は、導体線 14 の上側の磁性コア 12 の膜厚を磁性コア 11 の膜厚より薄くして断面積を小さくしている。図 4 の (a) 及び (b) に示す磁気検出素子は、いずれも成膜工程で磁性コア 11 あるいは 12 の膜厚を薄くすればよいため加工工程が簡単である。磁性コア 11 又は 12 のいずれか一方の膜厚を他方より薄くすることで、導体線 14 の近傍で磁束密度

が高くなり、図 4 の (a) 、 (b) のものでも本実施例の磁気検出素子と同様の効果が得られる。

図 5 の (a) 及び (b) は他の例の磁気検出素子のそれぞれ平面図及び断面図である。この磁気検出素子は、導体線 1 4 の部分の磁性コア 1 2 g の幅 W 1 を他の部分の幅 W 2 より狭くしている。磁性コア 1 1 と 1 2 g の厚さは同じである。幅 W 1 を他の部分の幅 W 2 より狭くすることにより、導体線 1 4 の部分で磁性コア 1 2 の断面積が減少し、図 4 の (a) 、 (b) のように磁性コア 1 1 又は 1 2 の膜厚を薄くしたのと同じ効果が得られる。

図 6 は第 1 実施例の他の例の磁気検出素子の断面図である。この例では、下側の磁性コア 1 1 b の下面に紙面に垂直な方向の溝 2 1 b を設け、この部分で磁性コア 1 1 b の断面積を他の部分より小さくしている。

図 7 は本実施例の更に他の例の磁気検出素子の断面図である。この例では、下側の磁性コア 1 1 c の上面に紙面に垂直な方向の溝 2 1 d を設けて、断面積を他の部分より小さくしている。

図 8 の (a) 及び (b) はそれぞれ更に他の例の磁気検出素子の上面図及び b - b 断面図である。この例では、上側の磁性コア 1 2 j の、導体線 1 4 に接する部分に円又は長円の孔 6 1 を形成している。孔 6 1 を形成することにより、この部分で磁性コア 1 2 j の断面積を減少させている。孔 6 1 の面積を変えることで、磁性コア 1 2 j のこの部分を所望の断面積にすることができる。

図 9 の (a) 及び (b) はそれぞれ更に他の例の磁気検出素子の上面図及び b - b 断面図である。この例では、上側の磁性コア 1 2 j の上面に円又は長円の凹部 6 2 を形成している。凹部 6 2 の面積と深さを変えることで磁性コアのこの部分を所望の断面積にすることができる。なお孔 6 1 、凹部 6 2 の形状は円又は長円に限られるものでなく他の形状でもよい。

本実施例によれば、導体線 1 4 の縁部近傍の磁性コア 1 2 に溝 2 2 を設けるなどして、部分的に断面積の小さい部分を設けることによって、外部磁界 1 0 0 の変化による導体線 1 4 近傍の磁性コア 1 2 e の透磁率変化が大きくなる。その結果導体線 1 4 のインダクタンスの変化が大きくなり、磁気検出素子としての検出感度が高くなる。以下の各実施例における外部磁界の検出原理も本実施例と同じである。

《 第 2 実施例 》

本発明の第 2 実施例の磁気検出素子を図 1 0 から図 1 5 を参照して説明する。

図 1 0 は本発明の第 2 実施例の磁気検出素子の斜投影図である。図 1 1 の (a) は図 1 0 に示す磁気検出素子の XI a - XI a の断面図である。

図 1 1 の (b) 及び (c) はそれぞれ本発明の第 2 実施例の他の 2 つの例の磁気検出素子の断面図である。

図 1 0 及び図 1 1 の (a) において、セラミックス等

の非磁性基板 4 1 の上に軟磁性膜の第 1 の磁性コア 4 4 を形成している。磁性コア 4 4 の中央領域に厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の SiO_2 膜による第 1 の絶縁膜 4 2 を形成し、その上に磁性コア 4 4 をまたぐように導体線 1 4 を形成している。導体線 1 4 の上に厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の SiO_2 膜による第 2 の絶縁膜 4 3 を形成し、その上に第 2 の磁性コア 1 2 を形成している。基板 4 1 の両端部の磁性コア 4 4 の上には、磁性コア 1 2 から離れた部分に軟磁性膜の第 2 の磁性コア 4 5 を形成している。磁性コア 4 4 及び 4 5 の好ましい厚さは共に $1.5 \mu\text{m}$ である。磁性コア 1 2 の段部 1 2 a で磁性コア 1 2 の断面積は他の部分より小さくされている。

本実施例の構成では、第 2 の磁性コア 1 2 は導体線 1 4 の上とその周辺部のみに設けられている。端部領域 T には磁性コア 4 4 と 4 5 が重なって磁性コア 1 1 が形成されているので、基板 4 1 の端部の磁束流入部 4 0 における磁性コア 1 1 の膜厚は $3 \mu\text{m}$ となる。導体線 1 4 の近傍の中央領域 4 6 a では膜厚 $1.5 \mu\text{m}$ の磁性コア 4 4 のみであるので、磁性コア 1 1 の膜厚 $3 \mu\text{m}$ の端部の磁束流入部 4 0 から流入した磁束は、膜厚 $1.5 \mu\text{m}$ の磁性コア 4 4 を通るとき、その磁束密度が約 2 倍になる。磁性コア 4 4 の磁束密度の増加に応じて磁性コア 1 2 の磁束密度も増加する。この磁束密度の増加により、磁性コア 4 4 の膜厚が端部領域 T と中央領域 4 6 a で同じである場合に比べて外部磁界 1 0 0 による磁束の密度変化

が約 2 倍になり、その結果として検出感度が高くなる。

図 1 1 の (b) の例では、基板 4 1 の上に厚さ $3 \mu\text{m}$ の磁性コア 4 4 を形成した後、磁性コア 4 4 の中央領域 4 6 a の表面部分を除去して厚さ $1.5 \mu\text{m}$ 程度まで薄くする。端部領域 T の磁性コア 4 4 の上には、磁性コア 1 2 から離れた部分に厚さ $1.5 \mu\text{m}$ の磁性コア 4 5 を形成している。その他の構成は図 1 1 の (a) に示すものと同じである。この例では、基板 4 1 の端部の磁束流入部 4 0 の膜厚は $4.5 \mu\text{m}$ であり、導体線 4 3 近傍の中央領域 4 6 a の磁性コア 4 4 の膜厚は $1.5 \mu\text{m}$ なので、厚さの比は 3 倍になる。その結果、磁性コア 4 4 の中央領域 4 6 a における磁束密度は端部領域 T の約 3 倍になり感度も更に高くなる。

図 1 1 の (a) 及び (b) においては、第 1 の磁性コア 4 4 と第 2 の磁性コア 1 2 との間に絶縁膜 4 2 を設けて電氣的に絶縁しているが、必ずしも両者間を電氣的に絶縁する必要はない。絶縁膜 4 2 が厚過ぎると磁路が長くなるので導体線 1 4 のインダクタンスが低くなり好ましくない。

図 1 1 の (c) の例では、図 1 1 の (b) の磁性コア 1 2 の段部 1 2 a に紙面に垂直な方向の溝 4 7 を形成している。溝 4 7 を形成することによって磁性コア 1 2 の斜面部の膜厚を薄くし断面積を小さくする。なお検出感度を出来るだけ高くしたい場合には薄い絶縁膜 4 2 を設けた方がよい。本実施例の磁気検出素子を用いて磁気検

出器を構成するときは、図 3 1 の検出回路に接続し、導体線 1 4 に直流と高周波電流を流す。

図 1 2 の (a) から (f) は、図 1 1 の (a) に示す第 2 実施例の磁気検出素子の製造方法を示す各工程における断面図である。図 1 2 の (a) において非磁性セラミックスの基板 4 1 の上に厚み $1.5 \mu\text{m}$ の軟磁性体膜をスパッタリングで成膜し、イオンミリング処理により所望の形状の第 1 の磁性コア 4 4 を形成する。

図 1 2 の (b) において、磁性コア 4 4 の中央領域に厚み $0.1 \mu\text{m}$ の SiO_2 膜をスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により所望の形状にして第 1 の絶縁膜 4 2 を形成する。

図 1 2 の (c) において、絶縁膜 4 2 の中央領域に Cu 膜を $1.0 \mu\text{m}$ の厚みでスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により所望の形状にして導体線 1 4 を形成する。

図 1 2 の (d) において、導体線 1 4 の上に SiO_2 膜を $0.1 \mu\text{m}$ の厚みでスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により所望の形状にして第 2 の絶縁膜 4 3 を形成する。

図 1 2 の (e) において、絶縁膜 4 2 及び 4 3 の上、及び磁性コア 4 4 の端部領域に軟磁性体膜を $1.5 \mu\text{m}$ の厚みでスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により第 2 の磁性コア 1 2 と第 1 の磁性コア 4 5 を形成する。

図 1 2 の (f) において、磁性コア 1 2 及び 4 5 を含む基板 4 1 の全面に平均 $3 \mu\text{m}$ の SiO_2 膜をスパッタリングにより成膜する。次に、イオンミリング処理により所望の形状にして保護膜 5 1 を形成するとともに図示を省略した端子等を設けて成膜工程を終了する。最後に所望の形状に切断加工し、本実施例の磁気検出素子が得られる。

基板 4 1 には、ニッケル、チタン、マグネシウムを含む非磁性セラミックを用いる。軟磁性体膜には、鉄、タantal、窒素を含む合金の複数の層の各層の間に層間絶縁膜として SiO_2 膜を挟んで積層したものを用いるのが好ましい。

図 1 3 の (a) から (g) は、図 1 1 の (b) に示す磁気検出素子の製造方法を示す各工程における断面図である。

図 1 3 の (a) において、セラミックスの基板 4 1 の上にスパッタリングにより厚さ $3.0 \mu\text{m}$ の軟磁性体膜を形成し、イオンミリング処理により所望の形状の第 1 の磁性コア 4 4 を形成する。

図 1 3 の (b) において、磁性コア 4 4 の中央部の領域の表面部分を、次の工程で形成される SiO_2 膜の領域よりやや広い範囲にわたってイオンミリング処理により除去し、深さ $1.5 \mu\text{m}$ の凹部 4 6 を形成する。

図 1 3 の (c) において、前記凹部 4 6 に厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の SiO_2 膜をスパッタリングにより成膜し、イオン

ミリング処理により所望の形状にして第1の絶縁膜42を形成する。

図13の(d)において、絶縁膜42の中央領域に厚さ $1.0\mu\text{m}$ のCu膜をスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により所望の形状にして導体線14を形成する。

図13の(e)において、導体線14を覆う厚さ $0.1\mu\text{m}$ の SiO_2 膜をスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により所望の形状にして第2の絶縁膜43を形成する。

図13の(f)において、絶縁膜42及び43、及び磁性コア44の両端部領域に厚さ $1.5\mu\text{m}$ の軟磁性体膜をスパッタリングにより成膜する。次に、イオンミリング処理により所望の形状にして第2の磁性コア12と第1の磁性コア45を形成する。

図13の(g)において、磁性コア12及び45を含む全面に厚さ $3\mu\text{m}$ の SiO_2 膜をスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により所望の形状にして保護膜51を形成する。

最後に所望の形状になるように不要部分(図示省略)を切断して磁気検出素子が完成する。

基板41に用いるセラミックは、ニッケル、チタン、マグネシウムを含む非磁性材料である。軟磁性体膜には鉄、タンタル、窒素を含む合金の複数の層の各層の間に層間絶縁膜として SiO_2 膜を挟んで積層したものをを用い

るのが好ましい。

なお図 1 3 の (a) の工程の後に、軟磁性体膜をスパッタリングにより成膜し、イオンミリング処理により磁性コア 4 5 を形成してもよい。

図 1 1 の (a) に示す磁気検出素子において、絶縁膜 4 2 を、図 1 4 に示すように、磁性コア 4 4 と磁性コア 1 2 の間にも設けて、磁性コア 4 4 と磁性コア 1 2 を絶縁してもよい。

図 1 5 は本実施例の他の例の磁気検出素子の断面図である。この磁気検出素子では磁性コア 1 1 k の中央領域に断面積を小さくするための凹部を形成し、そこに導体線 1 4 を形成している。磁性コア 1 2 k を、磁性コア 1 1 k と導体線 1 4 の上に形成する。図 1 5 の磁気検出素子は製造の工程が図 1 4 のものと異なるが、特性上はほとんど差がない。

《 第 3 実施例 》

本発明の第 3 実施例の磁気検出素子を図 1 6 の (a) 及び (c) の断面図を参照して説明する。図 1 6 の

(b) は比較説明に用いる図である。図 1 6 の (a) 、

(b) 及び (c) では図 1 0 に図示している基板 4 1 の図示を省略している。図 1 6 の (a) 及び (c) に示す本実施例の磁気検出素子は、前記第 1 実施例の図 1 の

(b) に示すものと類似の構成を有し、軟磁性体の膜による第 1 及び第 2 の磁性コア 1 1 及び 1 2 、磁性コア 1

1 及び 1 2 の中央部分に挟まれた導体膜による導体線 1 4 又は 3 4 を備えている。本実施例が第 1 実施例と異なる点は、導体線 1 4 又は 3 4 の膜厚が第 2 の磁性コア 1 2 の膜厚より厚いことである。

図 1 6 の (a) において、導体線 1 4 の膜厚を磁性コア 1 2 の膜厚より厚くすることにより、導体線 1 4 の縁部の点 1 4 a と点 1 4 b を通る点線で示す経路 7 1 において、磁性コア 1 2 を通る磁路 1 2 d の長さが、磁性コア 1 1 を通る磁路 1 1 d の長さより長くなる。また導体線 1 4 を厚くすることにより、スパッタリングで成膜するとき磁性コア 1 2 の、導体線 1 4 の斜面部 1 4 c における厚さが他の部分より薄くなり、断面積が他の部分より小さくなる。外部磁界 1 0 0 から磁性コア 1 2 に流入した磁束 3 3 の一部は、点 1 4 a の近傍で、経路が短いため透磁率が高い磁性コア 1 1 へ移る。すなわち磁力線はより近い経路を通る。磁性コア 1 2 から磁性コア 1 1 に移った磁束は、磁性コア 1 1 に流入した磁束 3 2 と合流し磁路 1 1 d を通る。その結果磁路 1 1 d の磁束密度は磁路 1 2 d の磁束密度より高くなり、外部磁界の検出感度が高くなる。

図 1 6 の (b) は前記第 1 実施例と同様の、導体線 2 4 の厚さが $1\ \mu\text{m}$ (幅は $10\ \mu\text{m}$) で、磁性コア 1 1、1 2 の厚さ $1.5\ \mu\text{m}$ より薄いものの例である。この例では、点 2 4 a、2 4 b 間の点線で示す経路 7 3 において、磁性コア 1 1 を通る磁路と磁性コア 1 2 を通る磁路

の差はあまり大きくない。

図 1 6 の (c) は、導体線 3 4 の厚さが $2 \mu\text{m}$ 、幅が $5 \mu\text{m}$ 、磁性コア 1 1、1 2 の厚さが $1.5 \mu\text{m}$ のものの例である。導体線 2 4 と 3 4 の断面積は同じであるので単位長当たりの直流抵抗は同じである。図 1 6 の

(c) の例では、導体線 3 4 の厚さを磁性コア 1 2 の厚さより大幅に厚くし、左右の幅を短くしているので、点 3 4 a と 3 4 b との間において、磁性コア 1 2 を通る磁路 1 2 c と磁性コア 1 1 を通る磁路 1 1 c との長さの差が大きくなる。その結果、磁路 1 1 c の磁束密度は磁路 1 2 c より大幅に大きくなる。外部磁界による導体線 3 4 のインピーダンス変化は、図 1 6 の (a) の導体線 1 4 のインピーダンス変化よりも大きくなり、さらに高い検出感度を得られる。

導体線 2 4 及び 3 4 のそれぞれのインダクタンスは、導体線 2 4 又は 3 4 の周囲を回る全磁路の長さに反比例する。図 1 6 の (b) の素子の全磁路と同 (c) の素子の全磁路とを比較すると、同 (c) の全磁路の方が短いので、導体線 3 4 のインダクタンスは導体線 2 4 より大きい。導体線に高周波電流を流したときの外部磁界による導体線のインピーダンスの変化は導体線のインダクタンスが大きい程大きくなるので、この点からも図 1 6 の (c) の磁気検出素子の磁気検出の感度は高くなる。

図 1 7 は長方形の断面で一定の断面積を有する導体線の周長 (縦軸) と断面の縦 (a) 横 (b) の比 b/a

（横軸）との関係を示すグラフである。導体線の周長を出来るだけ短くするためには、比 b/a を 4 程度にするのが望ましい。周長は b/a が 1 のとき（正方形）最小になるが、この場合は膜厚が厚くなるため成膜やエッチング工程に時間を要し製造コストが高くなる。以上の点から導体線 14、34 の膜厚（ a ）と長さ（ b ）の比

（厚さ／長さ）が 4 分の 1 以上であるのが望ましい。本実施例の磁気検出素子を用いた磁気検出器は図 31 の検出回路を用いて構成し、直流磁気バイアスを印加するために導体線に直流電流を流す。

《 第 4 実施例 》

本発明の第 4 実施例の磁気検出素子を図 18 から図 20 を参照して説明する。

図 18 の（a）から（e）は本発明の第 4 実施例の磁気検出素子の 5 つの例の断面図である。図 18 の（a）は本実施例の第 1 の例の磁気検出素子の断面図である。図において、第 1 の磁性コア 81 の中央部の両面にそれぞれ導体線 84 及び 85 が設けられている。導体線 84 と磁性コア 81 の上面に第 2 の磁性コア 82 が形成され、導体線 85 と磁性コア 81 の下面に第 3 の磁性コア 83 が形成されている。磁性コア 81、82、83 はともに同じ材質であり、同じ厚さになされている。本実施例の磁気検出素子は、前記第 1 及び第 2 実施例のもののような基板 41 は図示していないが、磁性コア 82 又は 83

のいずれか一方を基板上に設けてもよい。例えば、磁性コア 8 3 を基板上に形成する場合、基板の面に磁性コア 8 3 の中央部の凸部 8 3 p が入り込むように、凸部 8 3 p の形に合わせた凹みを作っておく。別の方法として基板上に非磁性の絶縁物で凸部 8 3 p に合わせた凹みをもつ層を形成してもよい。このことは図 1 8 の (b) から (e) のものについても同様である。基板を用いない場合磁性コア 8 1、8 2、8 3 及び導体線 8 4、8 5 は、基板 4 1 を必要としない比較的厚い膜やフィルムなどで形成されている。図 1 8 の (b) の磁気検出素子では、導体線 8 4 a、8 5 a の断面の縦横の比が約 1 対 2 になされている。その他の構成は、図 1 8 の (a) のものと同じである。

図 1 8 の (c) の磁気検出素子は、第 2 及び第 3 の磁性コア 8 2 a 及び 8 3 a の、導体線 8 4、8 5 の縁部近傍に、断面積を小さくするための溝 2 2 を形成している。導体線 8 4、8 5 は図 1 8 の (a) のものと同じである。

図 1 8 の (d) の磁気検出素子は、第 2 及び第 3 の磁性コア 8 2 b、8 3 b の中央部に断面積を小さくするための凹部 2 1 を形成している。導体線 8 4、8 5 は前記図 1 8 の (a) のものと同じである。

図 1 8 の (e) の磁気検出素子は、磁性コア 8 1 の両端部の両面に磁性コア 8 2 c と 8 3 c を設けている。磁性コア 8 1 の中央部の両面に導体線 8 4、8 5 が設けられている。導体線 8 4 を覆うように、前記磁性コア 8 2

c との間に隙間を保ちつつ磁性コア 8 2 d が形成されている。また導体線 8 5 を覆うように、磁性コア 8 3 c との間に隙間を保ちつつ溝 2 3 を有する磁性コア 8 3 d が設けられている。

本実施例の磁気検出素子の動作を、図 1 8 の (c) のものを例にして、図 1 9 を参照して説明する。図 1 9 の (a) において、本実施例の磁気検出素子を外部磁界 1 0 0 中に置いたとき、矢印 9 1、9 2、9 3 で示す、ほぼ同じ密度の磁束（以下、磁束 9 1、9 2、9 3 という）がそれぞれ磁性コア 8 1、8 2、8 3 を通る。導体線 8 4 と、磁性コア 8 1 及び 8 2 で図 2 の (b) に示すものと同等の磁気検出素子が構成される。また導体線 8 5 と、磁性コア 8 1 及び 8 3 でもう 1 つの、図 2 の (b) に示すものと同等の磁気検出素子が構成される。

本実施例では導体線 8 4 と 8 5 を直列に接続し図 3 1 に示す検出回路の端子 1 3 4、1 3 7 間に接続して高周波発振器 1 3 1 から紙面に垂直な方向に高周波電流を流す。図 1 9 の (b) において点線 9 7、9 8 で示す長円は、高周波電流により導体線 8 4 と 8 5 の周囲にできる交流磁界を表している。図 1 9 の (c) は、導体線 8 4、8 5 に紙面に垂直な方向で互いに逆方向の直流電流を流して直流バイアス磁界を発生させたときの磁束を矢印で示している。

本実施例では、導体線 8 4 と 8 5 を直列に接続することにより、各導体線 8 4 と 8 5 の両端子間のキャリア信

号レベルが加算されるので、磁気検出の感度が更に高くなる。

導体線 8 4 と 8 5 を並列に接続して用いてもよいが、この場合直列接続の場合の 2 倍の直流電流を必要とする。従って直列接続の方が省電力に有効である。導体線 8 4 と 8 5 を前記のように直列に接続せず、導体線 8 4 と 8 5 を独立した別々の直流電源に接続して用いてもよい。この場合、導体線 8 4、磁性コア 8 1、8 2 で構成される第 1 の磁気検出素子と、導体線 8 5、磁性コア 8 1、8 3 で構成される第 2 磁気検出素子を独立した 2 つの磁気検出素子として用いることができる。

図 2 0 は本実施例の他の例の磁気検出素子の断面図である。この例では、第 1 の磁性コア 8 1 の厚さを、第 2 及び第 3 の磁性コア 8 2、8 3 より薄くしている。磁性コア 8 1、8 2 及び導体線 8 4 により、図 4 の (a) に示す前記第 1 実施例の磁気検出素子と同等の素子が構成される。同様にして磁性コア 8 1、8 3 及び導体線 8 5 により、前記図 4 の (a) に示すものと同様の素子が構成される。この例の磁気検出素子においても導体線 8 4 と 8 5 を直列に接続して磁気検出器を構成してもよい。これにより前記図 4 の (a) の磁気検出素子のもつ効果に加えて、本実施例の前記導体線 8 4 と 8 5 の直列接続による効果も得られる。

《 第 5 実施例 》

本発明の第5実施例の磁気検出素子を図21を参照して説明する。

図21の(a)は本発明の第5実施例の磁気検出素子105の平面図である。図21の(b)は、同(a)の磁気検出素子105の構造を理解しやすくするための模型の斜視図である。図21の(b)に示すように、導体線122aから122e及び123aから123dよりなるらせん状の導体の、導体線122a～122eの部分が磁性コア111と112の間に挟まれている。

図21の(a)において、磁気検出素子105は、非磁性体の基板41の上に、それぞれ薄膜で形成された、磁性コア111及び112を有する。磁性コア111と磁性コア112との間に導体線122a～122eを有する。導体線122a～122eは導体線123a～123dにより直列に接続され、検出部106が形成されている。検出部106の、導体線122aの端部は端子115に接続され、導体線122eの端部は端子116に接続されている。導体線122a～122e、123a～123d及び端子115、116はともに銅等の薄膜により形成されている。磁性コア111、112は軟磁性体の薄膜により形成されている。

検出部106の一点鎖線107で囲んだ部分(以下、検出ユニット107という)は、磁性コア111、112及び導体線122aにより構成され、図1に示す第1実施例の磁気検出素子と実質的に同じである。図21の

(a) の磁性コア 1 1 1、1 1 2 及び導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e は、それぞれ図 1 の (b) の磁性コア 1 1、1 2 及び導体線 1 4 に対応している。図 2 1 の (a) の最上部の検出ユニット 1 0 7 において、磁性コア 1 1 1、1 1 2 を貫通する直線状の導体線 1 2 2 a は、一端が端子 1 1 5 に接続され、他端は、磁性コア 1 1 2 の上面を通る略 Z 字形の導体線 1 2 3 a によってその下の直線状の導体線 1 2 2 b に接続されている。同様にして、導体線 1 2 2 b と 1 2 2 c は導体線 1 2 3 b によって接続され、導体線 1 2 2 c と 1 2 2 d は導体線 1 2 3 c によって接続されている。導体線 1 2 2 d と 1 2 2 e は導体線 1 2 3 d によって接続され、導体線 1 2 2 c の端部は端子 1 1 6 に接続されている。図 2 1 の (a) の構成を模型で示すと図 2 1 の (b) の斜視図のようになる。

本実施例によれば、図 1 に示す磁気検出素子に相当する検出ユニット 1 0 7 が複数個 (図 2 1 では 5 つ) 直列に連結され、5 つの導体線 1 2 2 a ~ 1 2 2 e が直列に接続されている。

本実施例の磁気検出素子を用いて磁気検出器を構成するときは、図 3 1 の検出回路の端子 1 3 4、1 3 7 に、それぞれ磁気検出素子 1 0 5 の端子 1 1 5、1 1 6 を接続する。高周波発振器 1 3 1 から、導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e に高周波電流を流したとき、外部磁界 1 0 0 によって生じる導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e のインピーダンス変化、すなわち端子 1 1 5 と 1 1 6 間のインピーダ

ンス変化は図 1 の (b) のものの約 5 倍になる。そのため磁界の検出感度も約 5 倍になる。直列に連結する検出ユニット 1 0 7 の数は 5 つに限定されるものではなく、任意の数にすることができる。導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e に直流電流を流すとき電流の方向が導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e ですべて同じである。従って各導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e の近傍には同じ方向の直流バイアス磁界ができる。端子 1 1 5 から端子 1 1 6 までの直流抵抗を減らすために、導体線 1 2 3 a ~ 1 2 3 d の断面積を、導体線 1 2 2 a ~ 1 2 2 e の断面積より大きくするのが望ましい。

《 第 6 実施例 》

本発明の第 6 実施例の磁気検出素子を図 2 2 の平面図を参照して説明する。図 2 2 において、基板 4 1 上に図 2 1 の (a) に示す検出部 1 0 6 を 4 つ設け、4 つの検出部 1 0 6 をすべて接続導体線 1 8 1 で直列に接続している。左端の検出部 1 0 6 の導体線 1 2 2 a は端子 1 1 5 に接続され、右端の検出部 1 0 6 の導体線 1 2 2 e は端子 1 1 6 に接続されている。

本実施例の磁気検出素子を用いて磁気検出器を構成するときは、図 3 1 の検出回路の端子 1 3 4、1 3 7 に、それぞれ磁気検出素子の端子 1 1 5、1 1 6 を接続する。図 3 1 のアンプ型の検出回路は、導体線の直流抵抗が大きい場合でも動作するので、本実施例のような導体線の

直流抵抗がやや大きな検出素子にも使用できる。

本実施例では、前記第5実施例の検出部106が4つ直列に接続されているので、外部磁界100による端子115と116間のインピーダンス変化は第5実施例のものに比べて約4倍になる。従って磁界の検出感度も約4倍になる。

《第7実施例》

本発明の第7実施例の磁気検出素子を図23の平面図を参照して説明する。図23において、一点鎖線107で囲んだ部分は図21に示すものと同じ構成の検出ユニット107である。検出部106aは5つの検出ユニット107が縦に連結されて構成されている。基板41上に9つの検出部106aが並列に設けられている。9つの検出部106aの、図において最も上の横列の9つの検出ユニット107の導体線122aは互いに連結されている。上から2番目の横列の9つの検出ユニット107の導体線122bは互いに連結されている。同様にして、上から3番目の横列の9つの検出ユニット107の導体線122cは連結され、上から4番目の横列の9つの検出ユニット107の導体線122dは連結されている。最も下の横列の9つの検出ユニット107の導体線122eは連結されている。導体線122aの左端は基板41上の端子115に接続され、導体線122aの右端は検出部106aの上を通る導体線123で導体線1

2 2 b の左端に接続されている。同様にして導体線 1 2 2 b の右端は検出部 1 0 6 a の上を通る導体線 1 2 3 で導体線 1 2 2 c の左端に接続されている。導体線 1 2 2 c の右端は検出部 1 0 6 a の上を通る導体線 1 2 3 で導体線 1 2 2 d の左端に接続されている。導体線 1 2 2 d の右端は検出部 1 0 6 a の上を通る導体線 1 2 3 で導体線 1 2 2 e の左端に接続され、導体線 1 2 2 e の右端は端子 1 1 6 に接続されている。本実施例では縦 5 つ横 9 つ、合計 4 5 の検出ユニット 1 0 7 の導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e がすべて直列に接続されている。従って磁界 1 0 0 による端子 1 1 5 と 1 1 6 間のインピーダンス変化は、1 つの検出ユニット 1 0 7 の場合の約 4 5 倍になる。これにより磁界の検出感度も約 4 5 倍になる。本実施例の構成では、隣り合う検出部 1 0 6 a 間の間隔を図 2 2 のものに比べて狭くすることができるので、基板 4 1 上の検出ユニット 1 0 7 の配置密度が高くなる。従って高感度の磁気検出素子を小型の基板 4 1 を用いて作ることが可能となる。前記実施例 5 から 7 の検出ユニット 1 0 7 は図 1 の (b) の構成も素子限定されるものではなく、前記実施例 1 から 4 の磁気検出素子を検出ユニット 1 0 7 に用いてもよい。

《 第 8 実施例 》

図 2 4 は本発明の第 8 実施例の磁気検出素子の平面図である。図 2 4 における検出ユニット 1 0 7 a は、第 1

の磁性コア 1 1 が 2 つの磁性コア 4 4、4 5 で構成されている、図 1 0 に示す磁気検出素子に実質的に等しい。その他の構成は図 2 3 のものと同じである。検出ユニット 1 0 7 a の検出感度は図 2 3 の検出ユニット 1 0 7 の検出感度よりも高いので、本実施例の磁気検出素子は、前記の図 2 3 の磁気検出素子よりも高い検出感度を有する。

《 第 9 実施例 》

図 2 5 は本発明の第 9 実施例の磁気検出素子を図 2 5 の平面図を参照して説明する。図 2 5 において、検出ユニット 1 0 7 は図 2 3 における検出ユニット 1 0 7 と同じである。図 2 5 においては、左右の両端の検出部 1 0 6 c の縦の長さを、それより内側の検出部 1 0 6 d の縦の長さより短くしている。さらに検出部 1 0 6 d の長さを中央部の検出部 1 0 6 e の長さより短くしている。この構成によって得られる作用効果を以下に詳しく説明する。

例えば、図 2 3 に示す磁気検出素子を、矢印 1 0 0 で示す方向の均一な強さの磁界中に置くと、両端部の検出部 1 0 6 f を通る磁力線の数と中央部の検出部 1 0 6 g を通る磁力線の数より多くなることを発明者等は発見した。すなわち 9 つの検出部 1 0 6 a を通る磁力線の磁束密度が不均一になる。そのため導体線 1 2 2 a から 1 2 2 e において、中央部の検出部 1 0 6 g にある部分と、

端部の検出部 106f にある部分とで、磁界によるインピーダンスの変化量が異なる。この影響により、磁気検出素子を不均一な磁界においたとき、磁気検出素子の位置により検出値が変化し、正しい測定値が得られないことがある。

一般に均一な磁界中に磁性体を置いたとき、磁界の方向に沿う長さが長い磁性体の磁束密度は、短い磁性体の磁束密度より高くなることが知られている。この現象は磁界の方向に沿う方向において磁性体に生じる反磁性の作用によるものである。

本実施例では、図 25 に示すように、検出部 106d の長さを中央部の検出部 106e より短くし、両端の検出部 106c の長さを検出部 106d より更に短くすることにより、均一な磁界 100 において、検出部 106c、106d 及び 106e の磁束密度が等しくなるようにする。これによって、前記図 23 に示す磁気検出素子の有する問題点が解決された磁気検出素子が得られる。

なお、前記第 7、第 8 及び第 9 実施例の磁気検出素子を用いて磁気検出器を構成するときは、図 31 の検出回路を用いる。

《 第 10 実施例 》

本発明の第 10 実施例の磁気検出素子 160 を図 26 から図 28 を参照して説明する。図 26 は磁気検出素子 160 の平面図である。図 27 は図 26 において一点鎖

線で囲んだ検出ユニット 1 5 0 の XXVII-XXVII 断面図である。図 2 6 に示す本実施例の磁気検出素子は、同じ構成の前記検出ユニット 1 5 0 を縦に 5 つ連結しており、これを検出部 1 6 5 と呼ぶ。さらに 9 つの検出部 1 6 5 を横に並行配置しており、4 5 個の検出ユニット 1 5 0 により本実施例の磁気検出素子 1 6 0 が構成される。検出ユニット 1 5 0 の数は 4 5 個に限定されるものでなく、この数は 1 つの例である。図 2 7 の検出ユニット 1 5 0 の断面図において、基板 4 1 の上に薄膜形成技術により軟磁性膜の第 1 の磁性コア 1 5 1 が形成されている。磁性コア 1 5 1 の一部分に SiO_2 膜の絶縁膜 1 5 2 を介して第 1 の導体線 1 5 3 a が形成されている。第 1 の導体 1 5 3 a の上に、 SiO_2 膜の絶縁膜 1 5 4 を介して第 2 の導体線 1 5 5 a が形成されている。更に第 2 の導体線 1 5 5 a の上に SiO_2 膜の絶縁膜 1 5 6 を形成する。絶縁膜 1 5 6 の上及び磁性コア 1 5 1 の上に軟磁性膜による第 2 の磁性コア 1 5 8 が形成されている。磁性コア 1 5 8 は、両斜面部 1 5 8 a の厚さが他の部分より薄く、斜面部 1 5 8 a の断面積が他の部分より小さくなるように成膜する。磁性コア 1 5 8 の上に SiO_2 膜の絶縁膜 1 5 9 を形成し、絶縁膜 1 5 9 の上の右端部に導体の接続線 1 4 0 a が形成されている。

図 2 6 に示す磁気検出素子 1 6 0 について、まず第 1 の導体線 1 5 3 a ~ 1 5 3 e の接続について説明する。図 2 6 の 9 つの検出部 1 6 5 において、最も上の横列の

9つの検出ユニット150の各導体線153aは直列に接続されている。同様にして上から2番目の横列の9つの検出ユニット150の各導体線153bは直列に接続され、上から3番目の横列の9つの検出ユニット150の各導体線153cは直列に接続されている。また上から4番目の横列の9つの検出ユニット150の各導体線153dは直列に接続され、最も下の横列の9つの検出ユニット150の各導体線153eは直列に接続されている。導体線153aの左端は、9つの検出部165の上を横方向に通る接続線140aにより端子115に接続されている。導体線153aの右端は、9つの検出部165の上を横に通る接続線140bにより導体線153bの左端に接続されている。同様にして導体線153bの右端は接続線140cにより導体線153cの左端に接続され、導体線153cの右端は接続線140dにより導体線153dの左端に接続されている。導体線153dの右端は接続線140eにより導体線153eの左端に接続され、導体線153eの右端は接続線140fにより端子116に接続されている。その結果、導体線153a～153eは端子115、116間で直列に接続されたことになる。

第2の導体線155a～155eの接続について説明する。9つの検出部165の図において最も上の横列の9つの検出ユニット150の各導体線155aは直列に接続されている。同様にして上から2番目の横列の9つ

の検出ユニット 1 5 0 の各導体線 1 5 5 b は直列に接続されている。上から 3 番目の横列の 9 つの検出ユニット 1 5 0 の各導体線 1 5 5 c は直列に接続されている。上から 4 番目の横列の 9 つの検出ユニット 1 5 0 の各導体線 1 5 5 d は直列に接続されている。最も下の横列の 9 つの検出ユニット 1 5 0 の各導体線 1 5 5 e は直列に接続されている。導体線 1 5 5 a の左端は端子 1 3 5 に接続されている。導体線 1 5 5 a の右端と導体線 1 5 5 b の右端が接続され、導体線 1 5 5 b の左端と導体線 1 5 5 c の左端が接続されている。導体線 1 5 5 c の右端と導体線 1 5 5 d の右端が接続され、導体線 1 5 5 d の左端と導体線 1 5 5 e の左端が接続されている。導体線 1 5 5 e の右端は端子 1 3 6 に接続されている。その結果導体線 1 5 5 a ~ 1 5 5 e は端子 1 3 5、1 3 6 間で直列に接続されたことになる。直列に接続された導体線 1 5 5 a ~ 1 5 5 e を導体線 1 5 5 と表記する。

本実施例の磁気検出素子により磁気検出器を構成するときは、図 2 8 に示す発振型の検出回路を用いる。図 2 8 において、磁気検出素子 1 6 0 の端子 1 1 5、1 1 6 を、抵抗 1 8 0 が直列に接続された磁気バイアス用の直流電源 1 8 5 に接続する。また端子 1 3 5、1 3 6 を発振回路 5 0 0 のインバータ回路 5 5 1 の入出力間に接続する。電極端子 1 3 5、1 3 6 にはコンデンサ 5 5 2、5 5 4 のそれぞれの一端が接続され、コンデンサ 5 5 2、5 5 4 の他端は回路グランド G に接続されている。正の

直流電圧（＋V）がインバータ回路 551 の電源端子 553 に印加されている。この発振回路 500 はインダクタンスを有する導体線 155 と組み合わされて LC 発振器の一種であるコルピッツ形発振回路を構成している。発振回路 500 の発振周波数は例えば 10 MHz である。

直流電源 185 から抵抗 180 を経て導体線 140 を流れる直流電流により、各検出ユニット 150 の磁性コア 151、158 に、図 27 において矢印 170 で示す磁束（以下、バイアス磁束 170 という）が生じる。このバイアス磁束 170 によりバイアス磁界が形成される。この状態の磁気検出器を図 28 に示す外部磁界 100 の中におくと、前記の各実施例の場合と同様の作用により、導体線 155 のインダクタンスが外部磁界 100 の変化に応じて変化する。導体線 155 のインダクタンスの変化により、図 28 に示す検出回路の発振回路 500 の発振周波数が変化して周波数変調（FM）信号が出力される。発振回路 500 の周波数変調信号を FM 復調回路 561 で復調することにより発振周波数の変化量を出力レベルの変化量として出力することができる。発振周波数の変化は外部磁界の強さ及び方向の変化に対応しているので、FM 復調回路 561 の出力を磁界検出回路で検出することにより外部磁界の強さ及び方向を検出することができる。

本実施例によれば磁気検出素子 160 が 45 個の検出ユニット 150 を有するので、外部磁界の検出感度は 1

つの検出ユニット 1 5 0 の約 4 5 倍となり、高感度の磁気検出器が実現できる。

バイアス磁界用の直流電流が流れる導体線 1 4 0 と高周波電流が流れる導体線 1 5 5 が電氣的に絶縁されているので、磁気バイアス用の直流電源 1 8 5 の電圧及び発振回路 5 0 0 の電源端子 5 5 3 の電圧を、それぞれ任意の値に選定することができる。

また、外部磁界 1 0 0 の変化を周波数の変化で検出するので外部から到来する主として A M 変調波の電気ノイズの影響を受けにくい。

前記の各実施例では、軟磁性体膜として F e T a N を用いたが、実効透磁率の優れた F e 系、C o 系金属磁性体膜、酸化物磁性体膜等磁性体であれば使用可能である。導電性金属膜としては銅を用いたが、比抵抗の小さな A u 、A g などの金属膜でもよい。また、絶縁膜として S i O₂を用いたが、アルミナ、ガラスなどの無機質の誘電体膜でもよい。また、基板は N i T i M g のセラミック基板を用いたが、A l T i C など他のセラミック、ガラス系材料、カーボン基板を用いてもよい。非磁性体部の材料として S i O₂を用いたが他の非磁性体でもよい。保護膜としては S i O₂を用いたが、アルミナ等の他の誘電体、樹脂等を用いてもよい。

製造方法において、エッチング方法として主としてイオンミリング処理を用いたが、ウェットエッチング等、他のエッチング方法を用いてもよい。成膜方法も主とし

てスパッタリングにより行ったが、蒸着、メッキ等の方法を用いてもよい。

産業上の利用の可能性

本発明の磁気検出素子は、磁気検出素子を構成する軟磁性膜の2つの磁性コアと、2つの磁性コアの間に設けられる導電膜による導体線を薄膜形成技術によって形成する。成膜時に成膜条件を調節したり、エッチングなどの膜加工技術を用いて、磁性コアの一部で磁路に垂直な断面の面積（断面積）を小さくする。断面積の小さい部分において、磁束密度の増加により透磁率が減少する作用を利用することにより、高い磁気検出感度を有する磁気検出器が得られる。磁性コア及び導電体を薄膜で形成するため、小型軽量の磁気検出素子を安価に製造することができる。

請求の範囲

1. 軟磁性膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの一部分に形成された導体線、及び

前記第1の磁性コアに前記導体線を挟んで形成された、磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第2の磁性コア

を有する磁気検出素子。

2. 磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの一部分に形成された導体線、及び

前記第1の磁性コアに前記導体線を挟んで形成された、前記導体線の縁部近傍の磁路に垂直な断面の面積が他の部分より小さくされた軟磁性膜の第2の磁性コア

を有する磁気検出素子。

3. 軟磁性膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの上の一部分に形成された導体線、及び

前記第1の磁性コアの上に前記導体線を挟んで形成された、厚さが前記第1の磁性コアより薄い軟磁性膜の第2の磁性コア

を有する磁気検出素子。

4. 軟磁性膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの上の一部分に形成された導体線、
及び

前記第1の磁性コアの上に前記導体線を挟んで形成された、厚さが前記第1の軟磁性コアより厚い軟磁性膜の
第2の磁性コア

を有する磁気検出素子。

5. 前記第1及び第2の磁性コアの少なくとも一方の幅が、前記導体線の近傍において狭くなされていることを特徴とする請求項1又は2記載の磁気検出素子。

6. 前記第2の磁性コアは、前記導体線を含む領域において前記第2の磁性コアの磁路に垂直な断面の面積を減らすための凹部又は孔を有することを特徴とする請求項1又は2記載の磁気検出素子。

7. 前記導体線が絶縁膜を介して前記第1及び第2の磁性コアの間に挟まれていることを特徴とする請求項1又は2記載の磁気検出素子。

8. 前記第1の磁性コア及び第2の磁性コアの部分的に異なる断面積の、小さい部分と大きい部分との比が3対

4 以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気検出素子。

9 . 前記第 1 及び第 2 の磁性コアの少なくとも一方が、前記導体線の近傍において厚さが薄くなされていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気検出素子。

10 . 前記第 1 の磁性コアは、前記導体線の縁部近傍の厚さが薄くなされていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気検出素子。

11 . 前記第 1 及び第 2 の磁性コアの少なくとも一方の、前記導体線を含む領域の厚さが部分的に薄くなされていることを特徴とする請求項 1、2、3、4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

12 . 前記導体線の周囲において前記第 2 の磁性コアの磁路に垂直な断面の面積が他の部分より小さくなるように溝を設けたことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気検出素子。

13 . 前記導体線を含む領域において、前記第 1 の磁性コアと第 2 の磁性コアが絶縁層により絶縁されていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

14. 前記第1の磁性コアの端部領域が2層構造を有することを特徴とする請求項1又は2記載の磁気検出素子。

15. 前記導体線の厚さが、前記第1の磁性コア及び第2の磁性コアのいずれか一方の厚さより厚いことを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の磁気検出素子。

16. 前記導体線の厚さが、前記第2の磁性コアの厚さより厚いことを特徴とする請求項15記載の磁気検出素子。

17. 前記導体線の厚さと、被検出磁界の方向に平行な方向の長さとの比（厚さ／長さ）が4分の1以上であることを特徴とする請求項15又は16記載の磁気検出素子。

18. 軟磁性膜の第1の磁性コアの一方の面の所定領域に形成した第1の導体線、

前記第1の磁性コアの他方の面の、前記第1の導体線に対向する領域に形成した第2の導体線、

前記第1の磁性コアの前記一方の面と第1の導体線の上に形成した第2の磁性コア、及び

前記第1の磁性コアの前記他方の面と前記第2の導体線の上に形成した第3の磁性コア

を有する磁気検出素子。

19. 前記第2及び第3の磁性コアの磁路に垂直なそれぞれの断面の面積が部分的に異なることを特徴とする請求項18記載の磁気検出素子。

20. 前記第1及び第2の導体線が、それぞれの絶縁膜を介して前記第1、第2及び第3のそれぞれの磁性コアに接していることを特徴とする請求項18記載の磁気検出素子。

21. 前記第2及び第3の磁性コアの、断面積の小さい薄い部分の厚さと断面積の大きい厚い部分の厚さとの比が3対4以下であることを特徴とする請求項19記載の磁気検出素子。

22. 前記第2及び第3の磁性コアは、前記第1及び第2の導体線の周辺に対向する部分の近傍が他の部分より薄くなされていることを特徴とする請求項18に記載の磁気検出素子。

23. 前記第2及び第3の磁性コアは、前記第1及び第2の導体線に対向する部分の一部が他の部分より薄くなされていることを特徴とする請求項18記載の磁気検出素子。

24. 前記第2及び第3の磁性コアは、前記第1及び第2の導体線に対向する部分に溝を有することを特徴とする請求項18記載の磁気検出素子。

25. 前記第2及び第3の磁性コアは、前記第1及び第2の導体線の周辺領域が除去されていることを特徴とする請求項18記載の磁気検出素子。

26. 前記第1の磁性コアは、前記第2及び第3の磁性コアより薄くなされていることを特徴とする請求項18に記載の磁気検出素子。

27. 前記第1及び第2の導体線の厚さが、前記第2及び第3の磁性コアの厚さより厚いことを特徴とする請求項18記載の磁気検出素子。

28. 断面積が部分的に異なる軟磁性膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの一部に形成された導体線、

前記第1の磁性コア及び導体線に前記導体線を挟んで形成された、磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第2の磁性コア、

前記第1及び第2の磁性コアに、被検出磁界の方向に平行な方向のバイアス磁界を与える磁気バイアス手段、

及び

前記導体線に、前記被検出磁界に直交する方向に交流電流を流す交流キャリア信号発生器を有する磁気検出器。

29. 軟磁性膜の第1の磁性コアの一方の面の所定領域に形成した第1の導体線、

前記第1の磁性コアの他方の面の、前記第1の導体線に対向する領域に形成した第2の導体線、

前記第1の磁性コアの前記一方の面と第1の導体線の上に形成した磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第2の磁性コア、

前記第1の磁性コアの前記他方の面と前記第2の導体線の上に形成した磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第3の磁性コア、

前記第1、第2及び第3の磁性コアに被検出磁界の方向に平行な方向のバイアス磁界を与える磁気バイアス手段、及び

前記第1及び第2の導体線に前記被検出磁界に直交する方向に交流キャリア電流を流す交流キャリア信号発生器

を有する磁気検出器。

30. 前記第1及び第2の導体線に互いに同相の交流キャリア電流を流し、前記第1の導体線と第2の導体線に

互いに逆方向に直流電流を流して直流バイアス磁界を与えることを特徴とする請求項 29 に記載の磁気検出器。

31. 前記第 1 の導体線の一端と、前記第 2 の導体線の一端が接続されて第 1 の磁性コアを囲むコイルになされていることを特徴とする請求項 29 に記載の磁気検出器。

32. 前記第 1 の導体線及び第 2 の導体線に互いに逆位相の交流キャリア電流を流し、前記第 1 の導体線と第 2 の導体線に互いに逆方向に直流電流を流して直流バイアス磁界を与えることを特徴とする請求項 29 に記載の磁気検出器。

33. 非磁性基板上に形成された、略長方形の軟磁性体の膜の第 1 の磁性コア、

前記第 1 の磁性コアの上に、前記長方形の第 1 の磁性コアの長手方向に直交する方向に所定の間隔をもって形成された複数の第 1 の導体線、

前記第 1 の導体線をはさんで、前記第 1 の磁性コアの上に形成された磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる軟磁性膜の第 2 の磁性コア、及び

前記複数の第 1 の導体線を直列に接続する、複数の第 2 の導体線

を有する磁気検出素子。

34. 非磁性基板上に形成された、略長方形の軟磁性の膜の第1の磁性コア、

前記第1の磁性コアの上に、前記長方形の第1の磁性コアの長手方向に直交する方向に所定の間隔をもって形成された複数の第1の導体線、

前記第1の導体線をはさんで、前記第1の磁性コアの上に形成された磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる第2の磁性コア、及び

前記複数の第1の導体線を直列に接続する、複数の第2の導体線

を有する複数の磁気検出素子を前記長手方向に並行して配列し、各検出素子の第1及び第2の導体線をすべて直列に接続したことを特徴とする請求項33記載の磁気検出素子。

35. 非磁性基板上に並行して形成された、略長方形の複数の第1の磁性コア、

前記複数の第1の磁性コアの上に、前記複数の第1の磁性コアの長手方向に垂直な方向に所定の間隔をもって形成された複数の第1の導体線、

前記複数の第1の磁性コアの上に、前記第1の導体線をはさんでそれぞれ形成された磁路に垂直な断面の面積が部分的に異なる第2の磁性コア、及び

前記複数の第1の導体線のすべてを直列に接続する第2の導体線

を有する磁気検出素子。

36. 前記第2の磁性コアの、前記第1の導体線の近傍の厚さを薄くしたことを特徴とする請求項35記載の磁気検出素子。

37. 前記非磁性基板上に並行に形成された略長方形の複数の第1の磁性コア及び第2の磁性コアの、両端部のものの長さを中央部のものより短くしたことを特徴とする請求項35記載の磁気検出素子。

38. 前記第2の導体線が、前記第2の磁性コアの上に形成された導電体の膜であることを特徴とする請求項33から35のいずれかに記載の磁気検出素子。

39. 前記第1の磁性コアと第1の導体線の間、前記第1の導体線と第2の磁性コアの間及び第2磁性コアと第2の導体線の上に絶縁膜を有することを特徴とする請求項33から35のいずれかに記載の磁気検出素子。

40. 非磁性体の基板に軟磁性体の膜を所望のパターンに成膜し、第1の磁性コアを形成する工程、

前記第1の磁性コアの所定領域に所望のパターンの導電体の膜を成膜し、導体線を形成する工程、

前記第1の磁性コアと導体線の上に軟磁性膜を所望の

パターンに成膜し、第2の磁性コアを形成する工程、及び

前記第2の磁性コアの所定部分の厚さを薄くする工程を有する磁気検出素子の製造方法。

41. 非磁性体の基板に軟磁性体の膜を所望のパターンに成膜し、第1の磁性コアを形成する工程、

前記第1の磁性コアの上に、非磁性かつ絶縁性の膜を所望のパターンに成膜し、第1の絶縁膜を形成する工程、

前記第1の絶縁膜の上に所望のパターンの導電体の膜を成膜し、導体線を形成する工程、

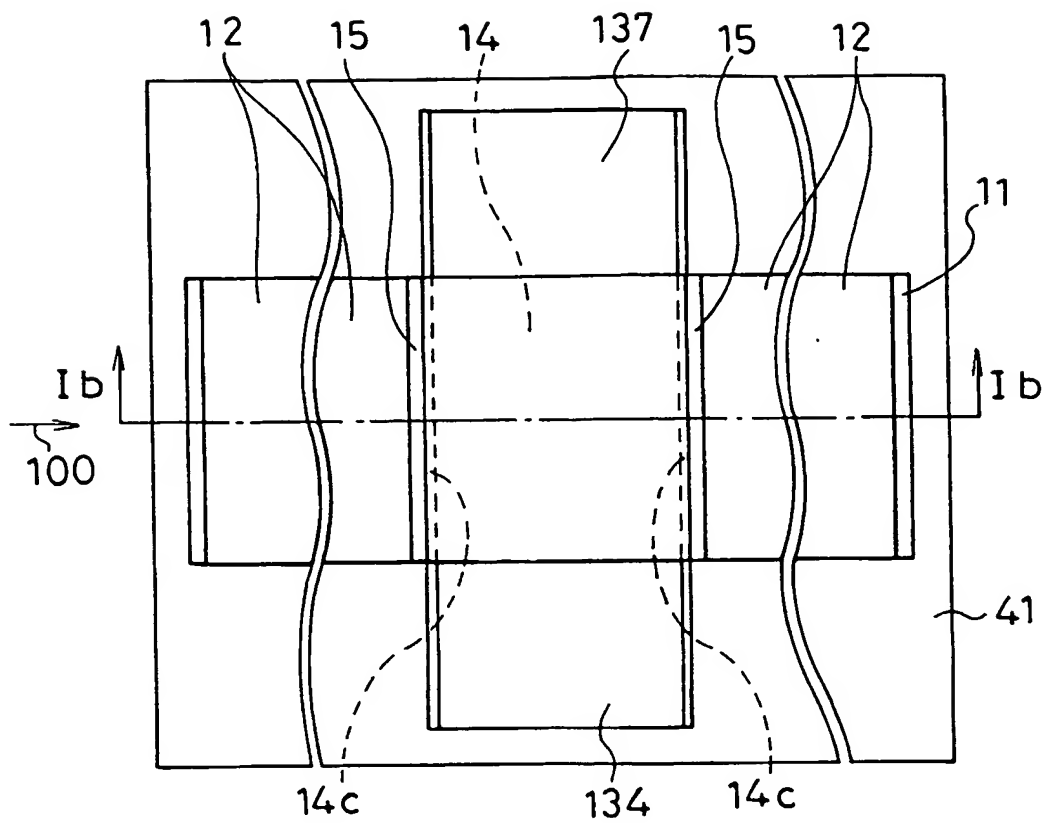
前記導体線の上に、非磁性かつ絶縁性の膜の第2の絶縁膜を形成する工程、

前記第1の絶縁膜と第2の絶縁膜の上に軟磁性膜を所望のパターンに成膜し、断面積が部分的に異なる第2の磁性コアを形成する工程、及び

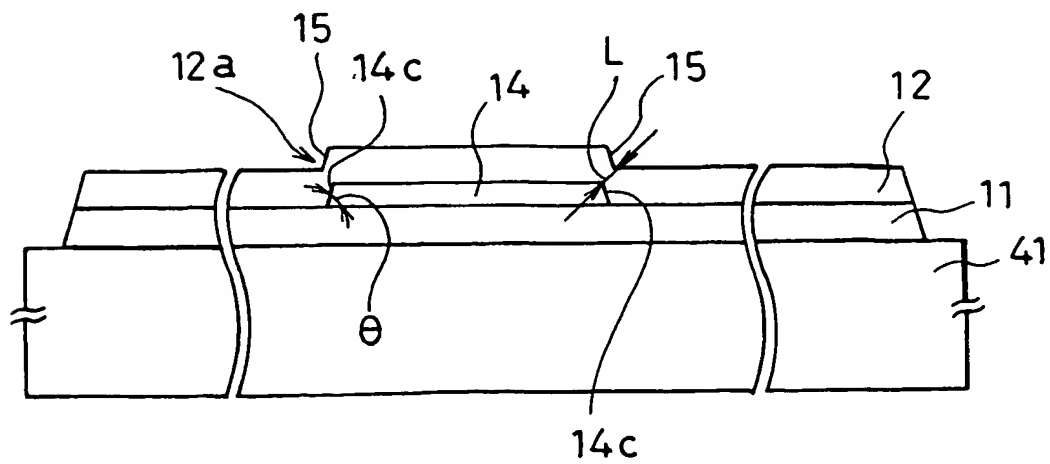
前記第1の磁性コアの面の端部領域に軟磁性膜を形成して、前記第1磁性コアの端部を厚くする工程

を有する磁気検出素子の製造方法。

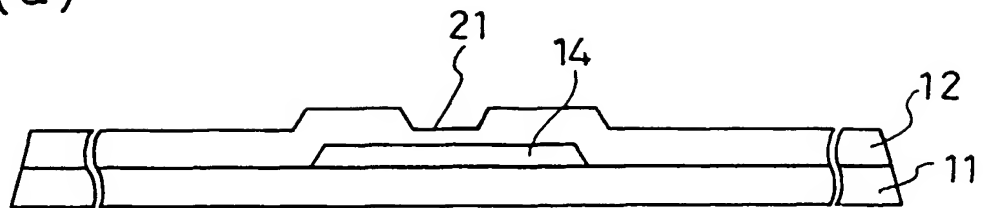
(a)



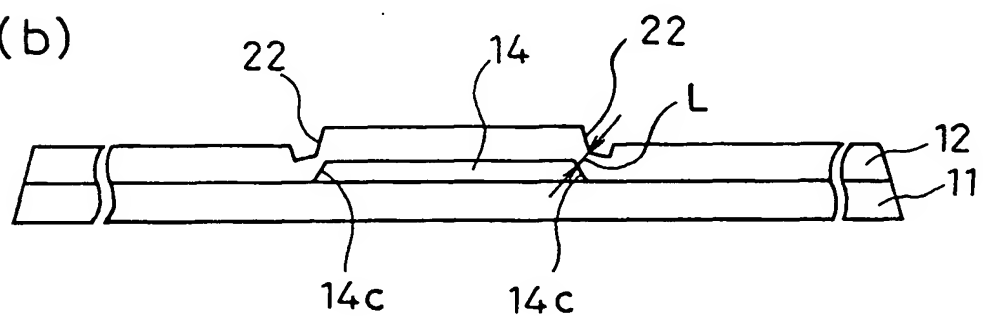
(b)



(a)



(b)



(c)

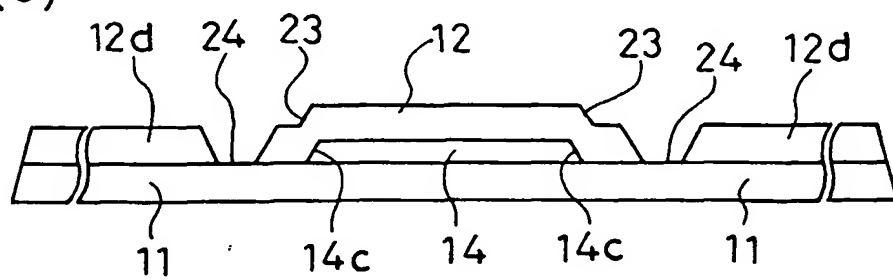
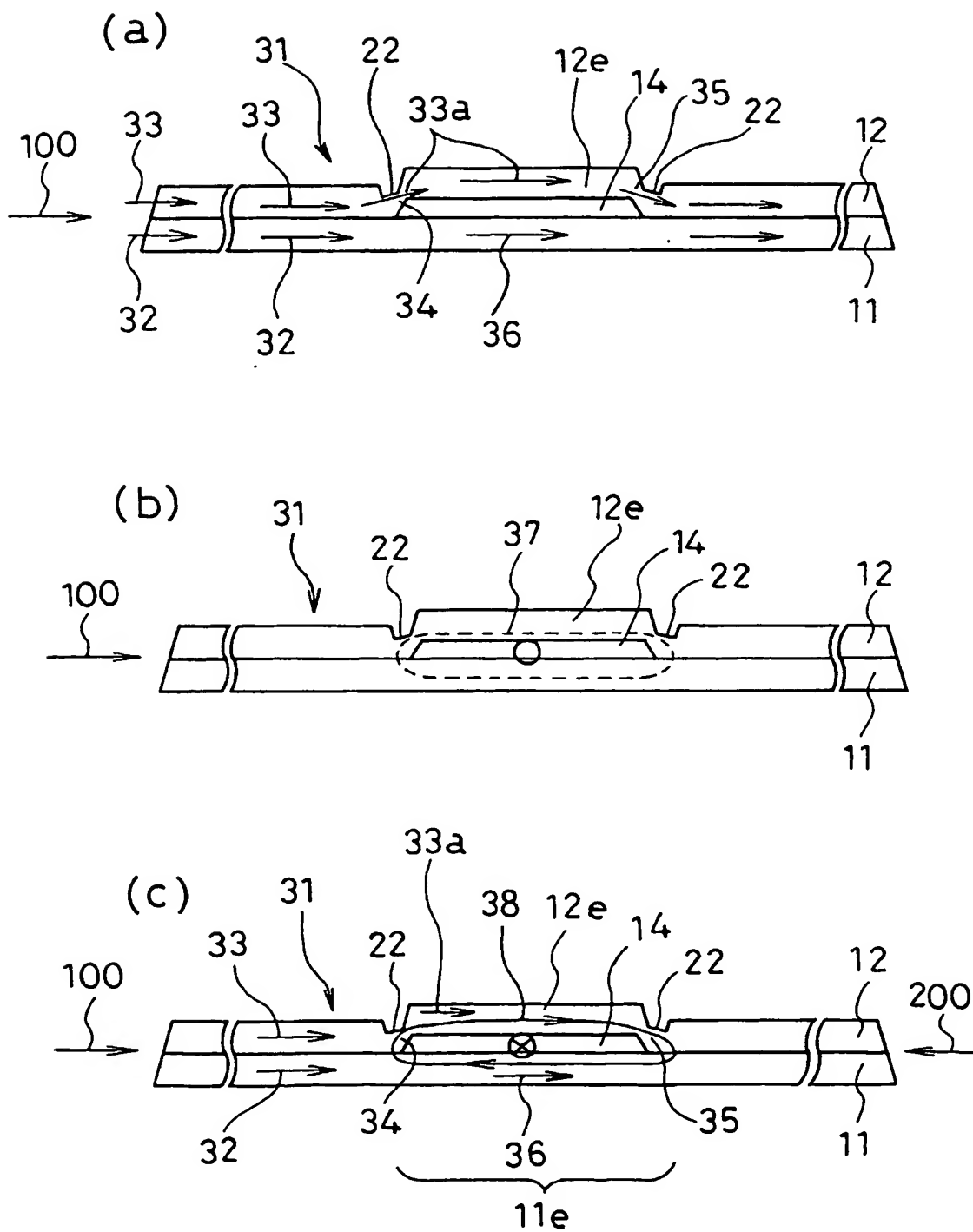


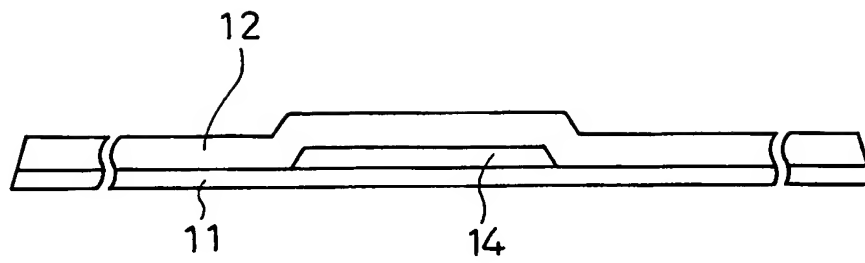
図 3



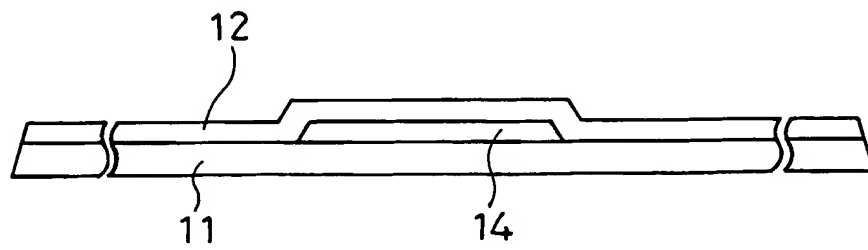
4/33

図 4

(a)



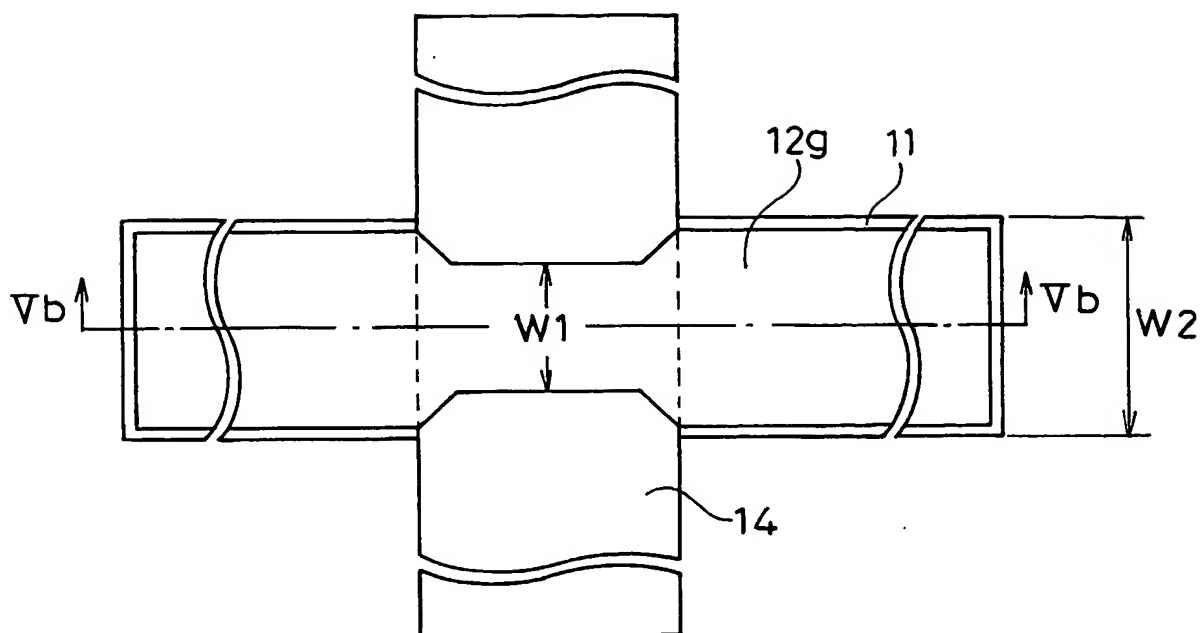
(b)



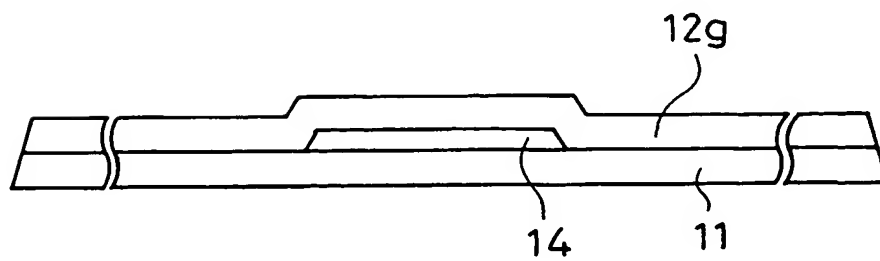
5/33

図5

(a)

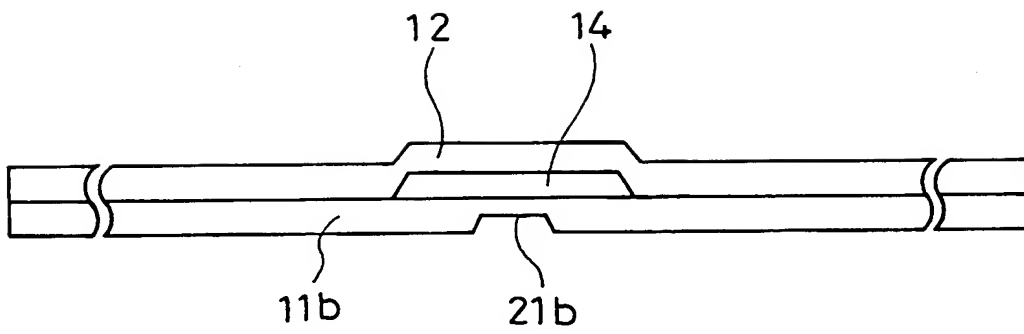


(b)



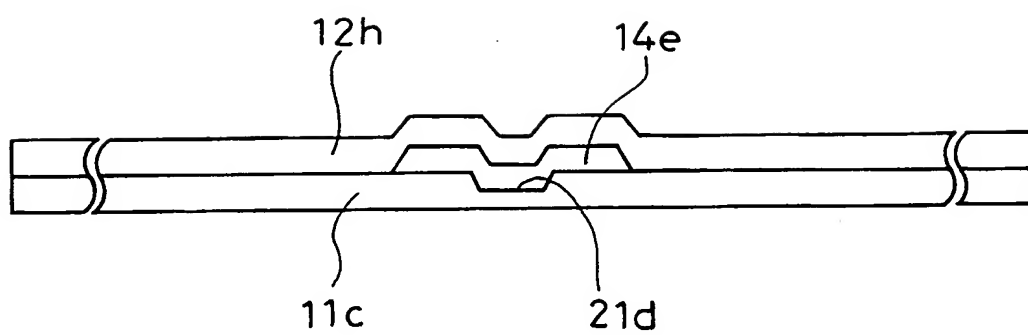
6/33

図 6

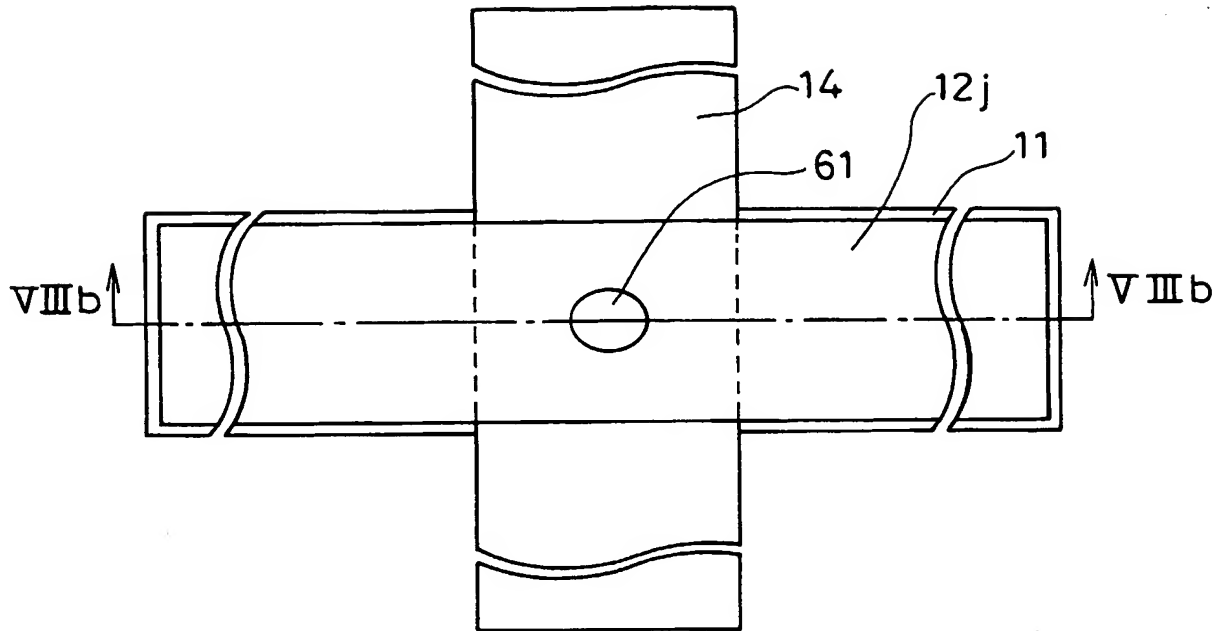


7/33

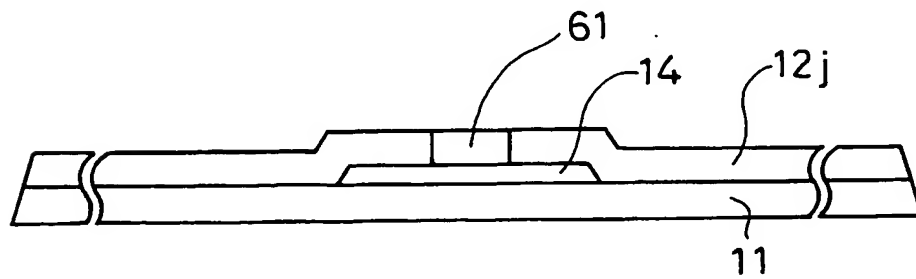
図 7



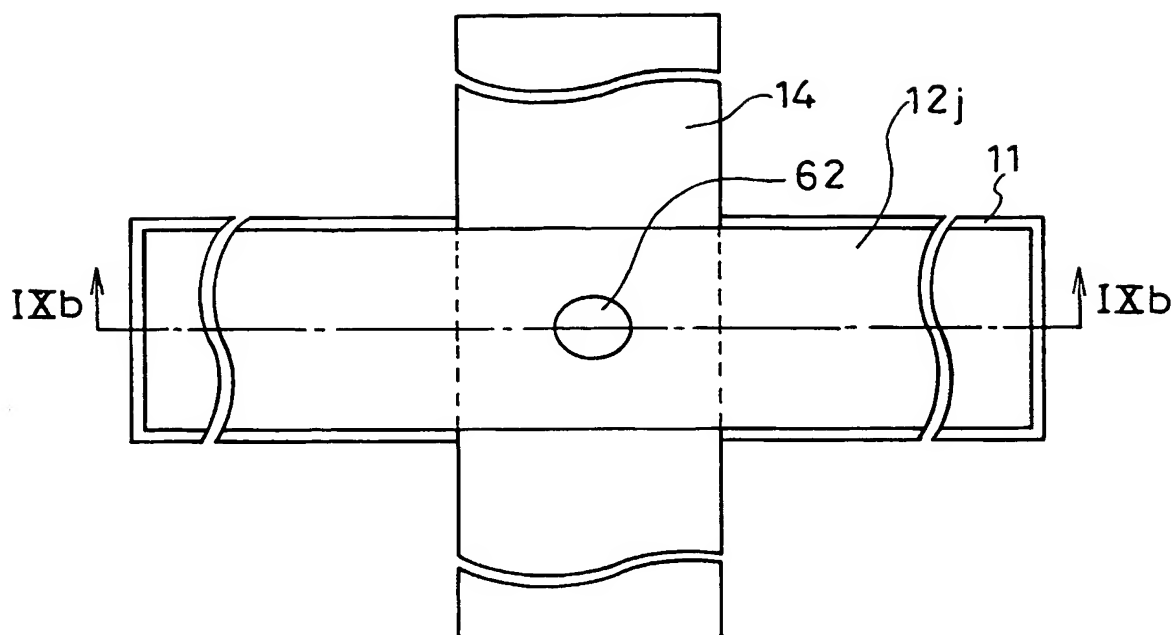
(a)



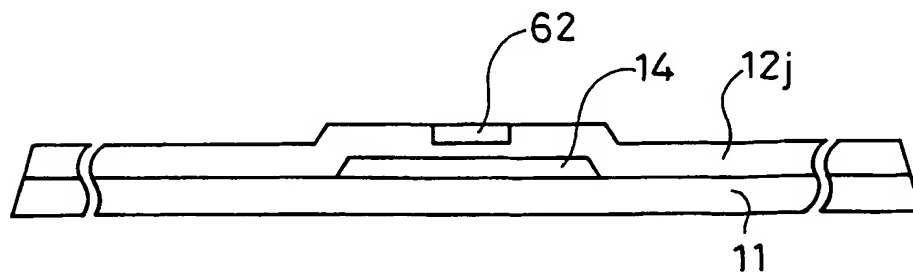
(b)

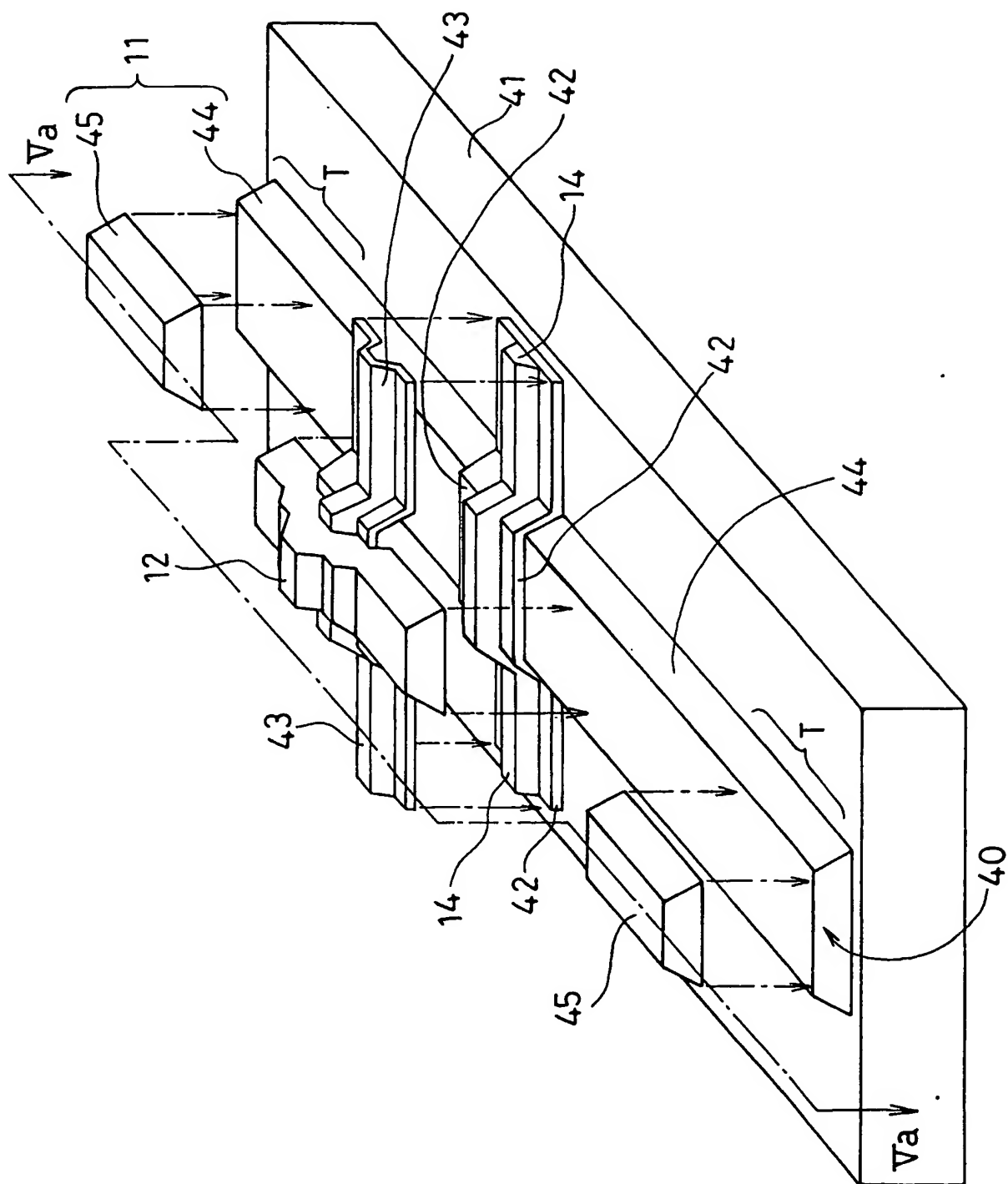


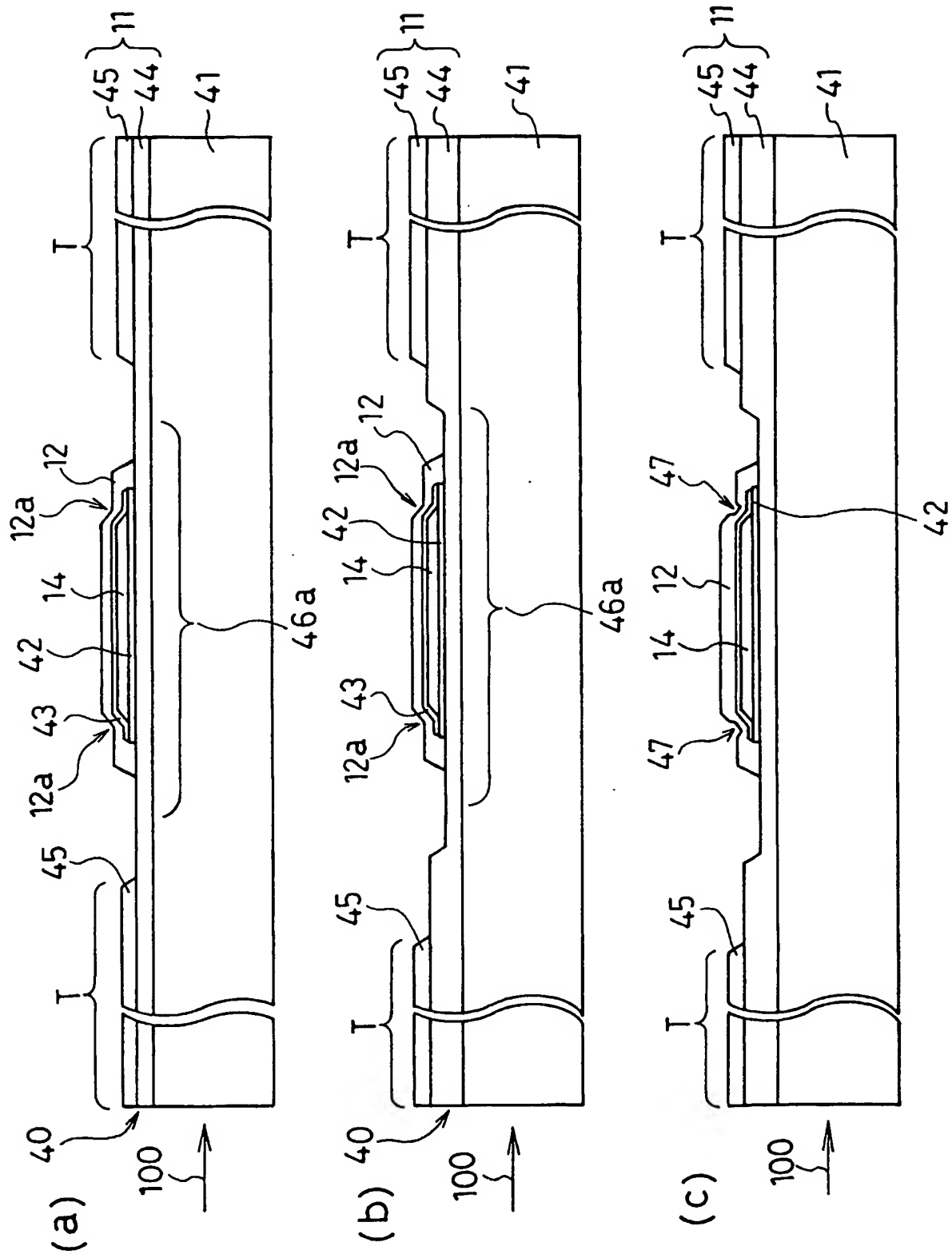
(a)



(b)

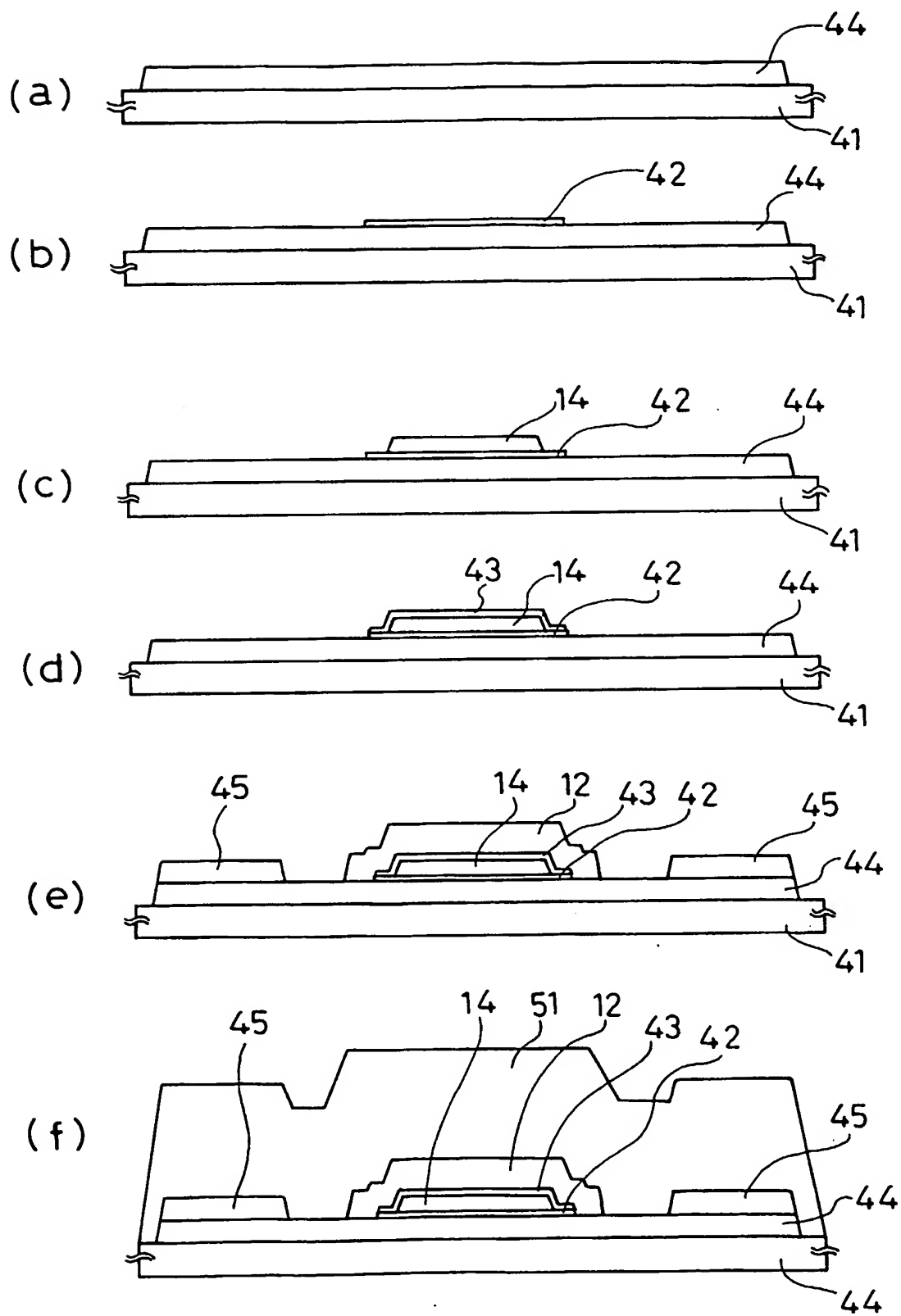


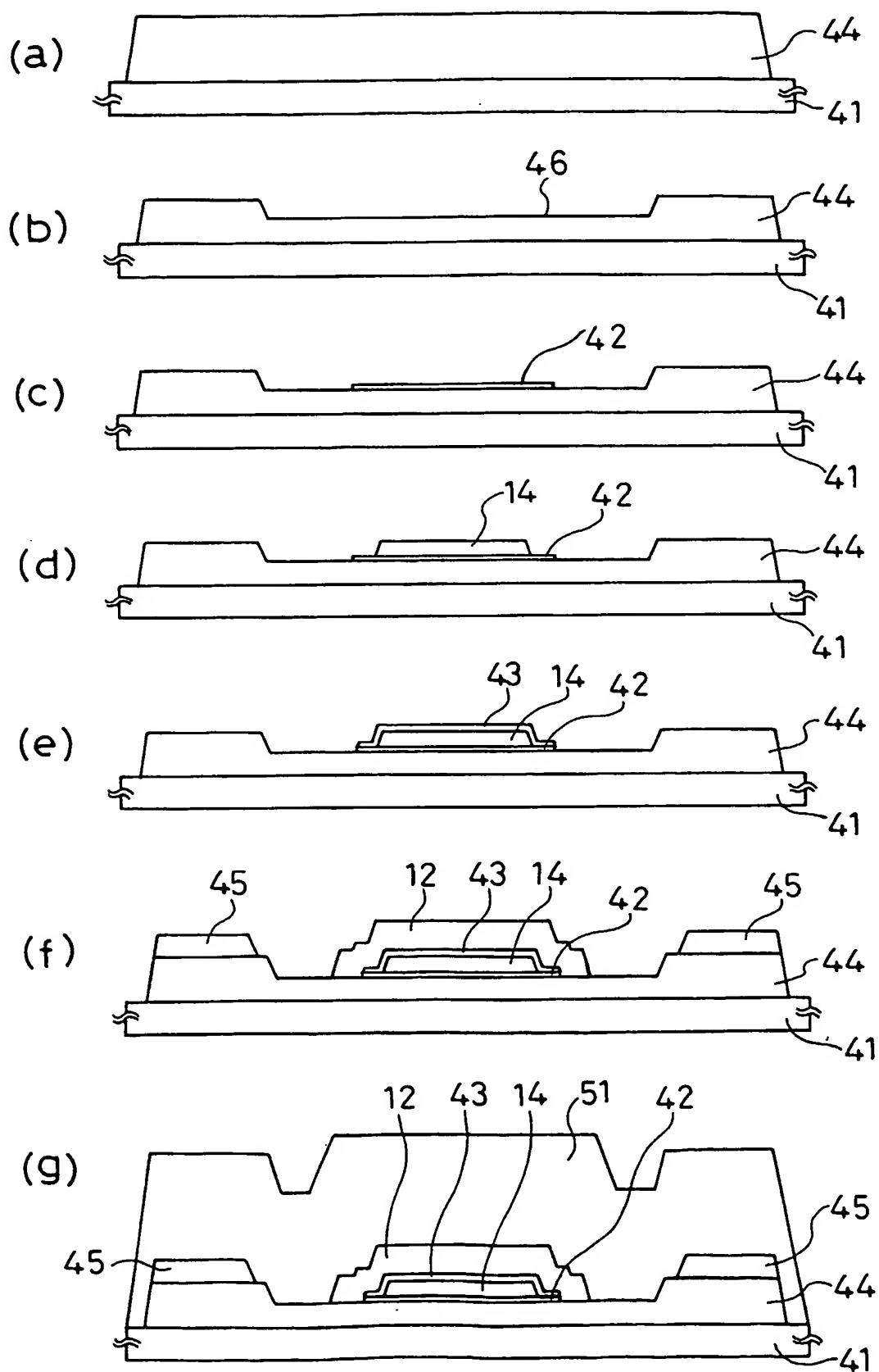




12/33

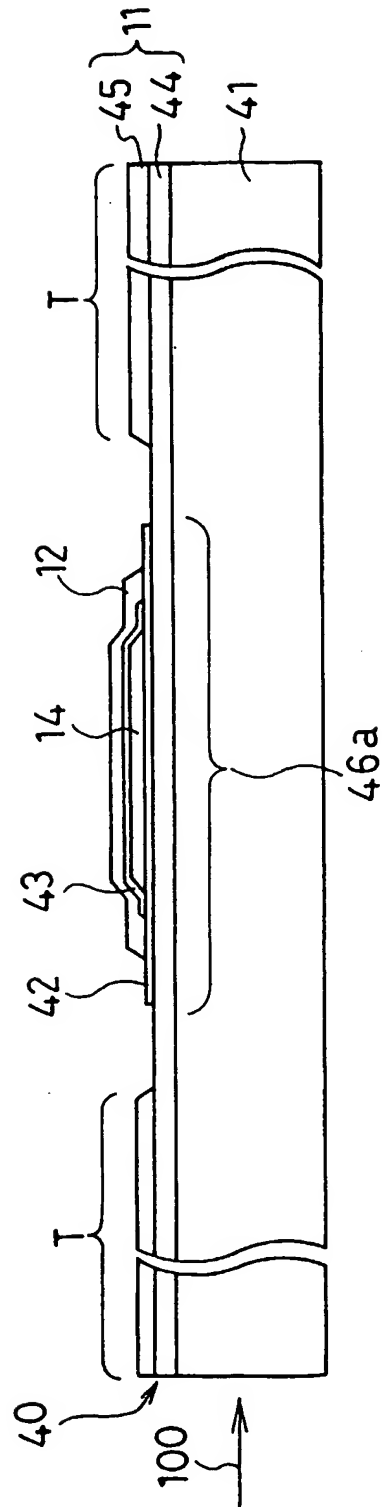
図 12





14/33

図 14



15/33

図 15

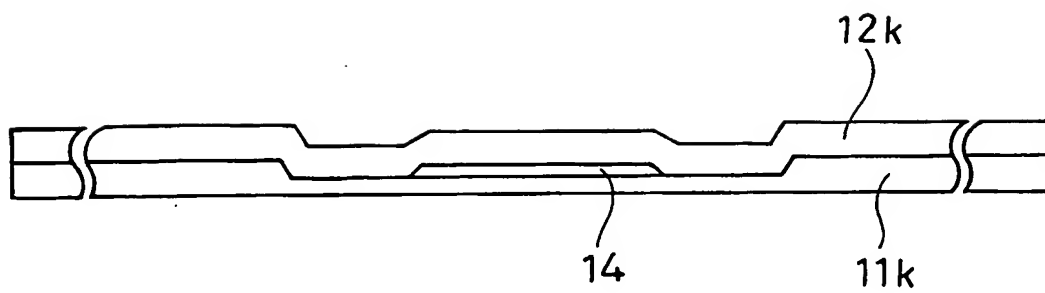
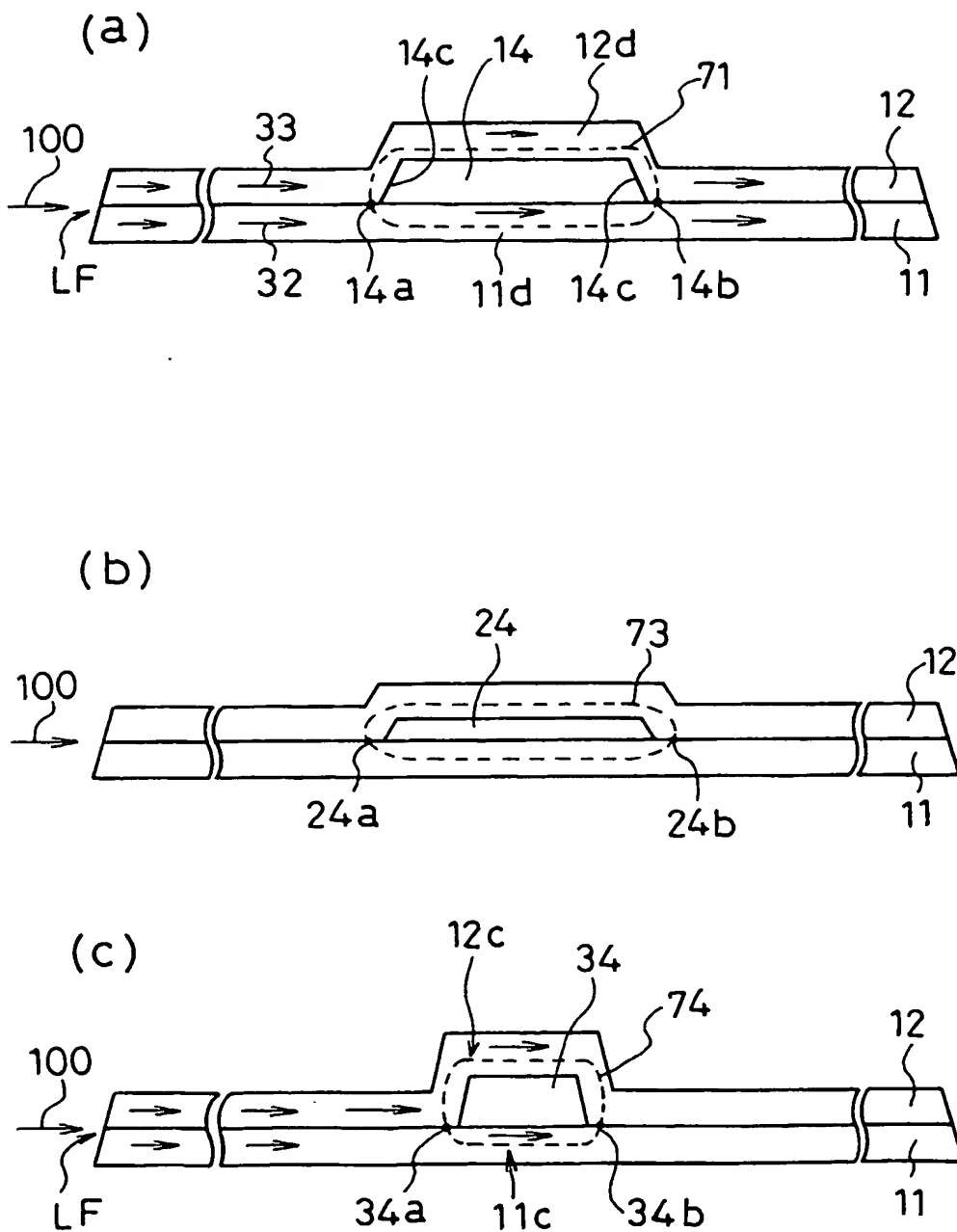
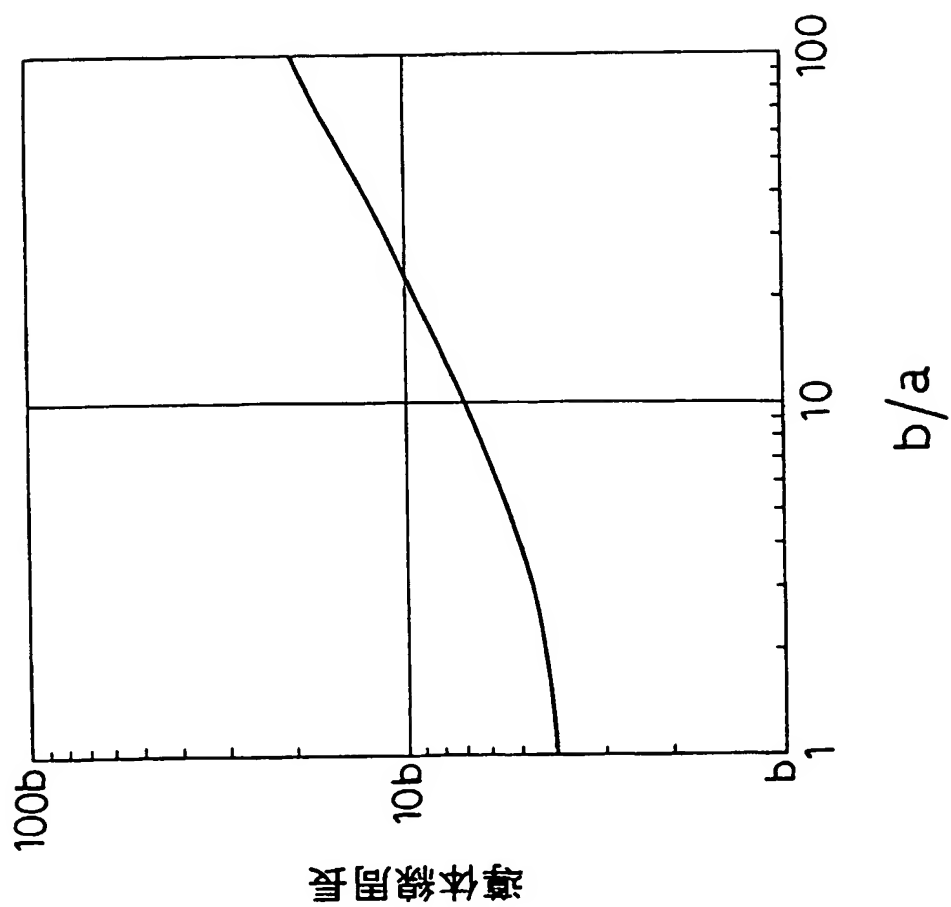
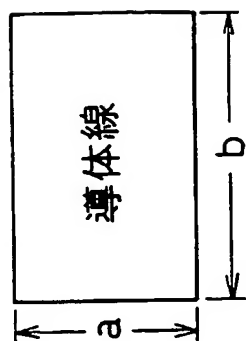


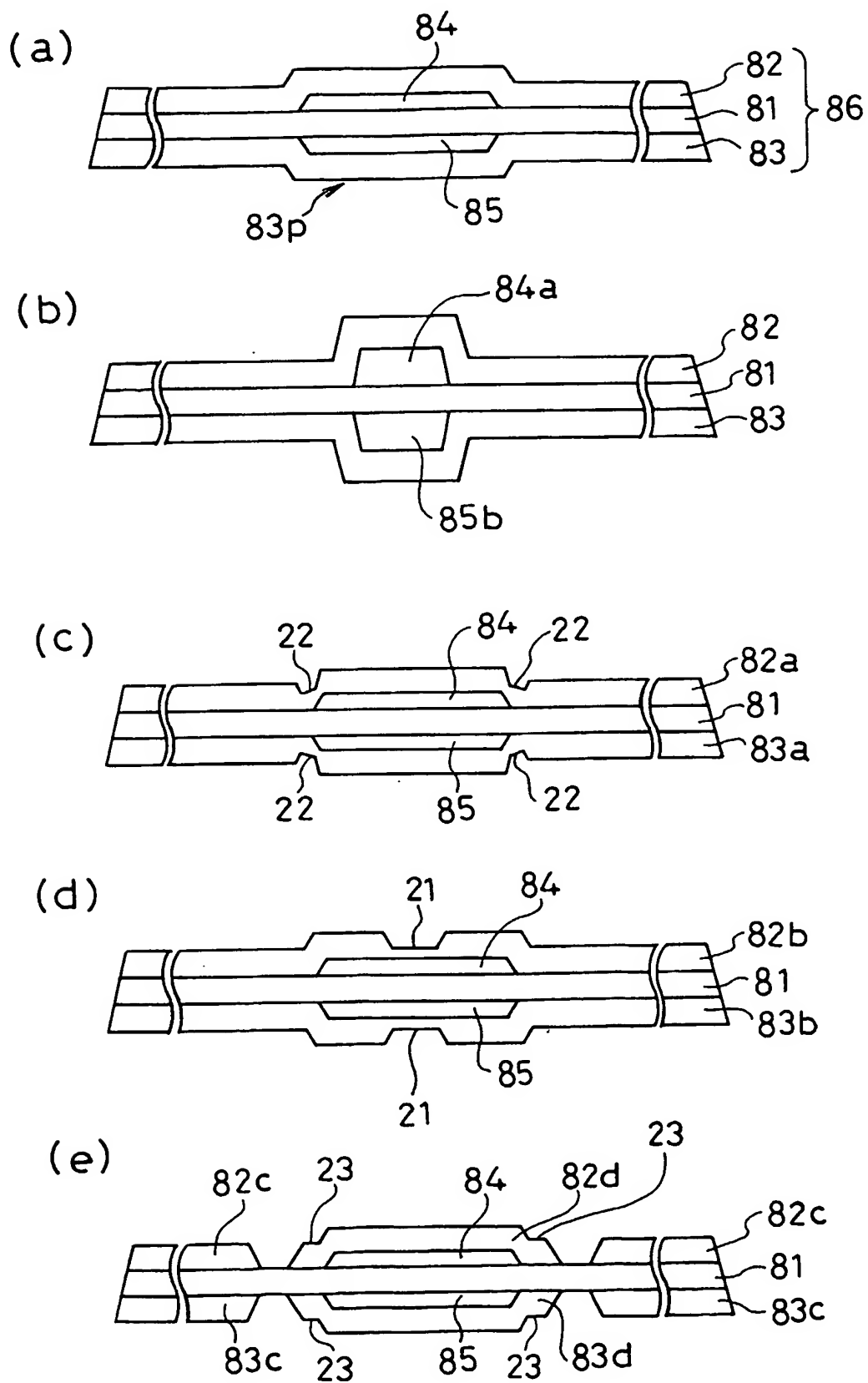
図 16



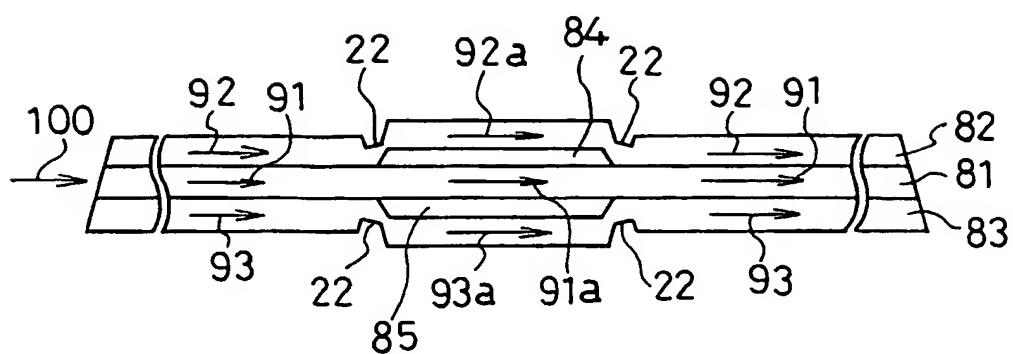
17/33

図 17

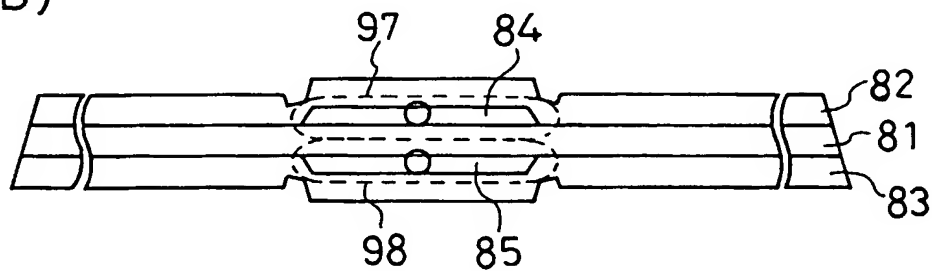




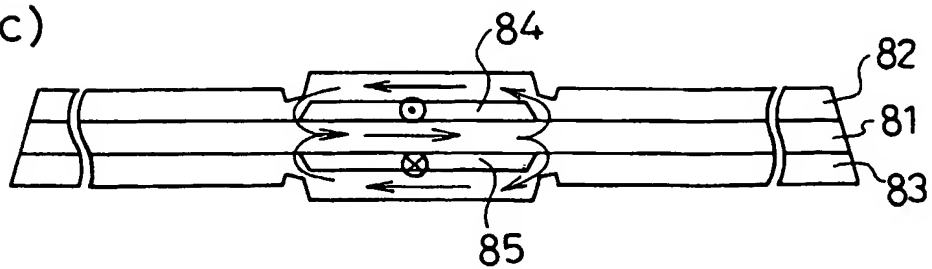
(a)



(b)

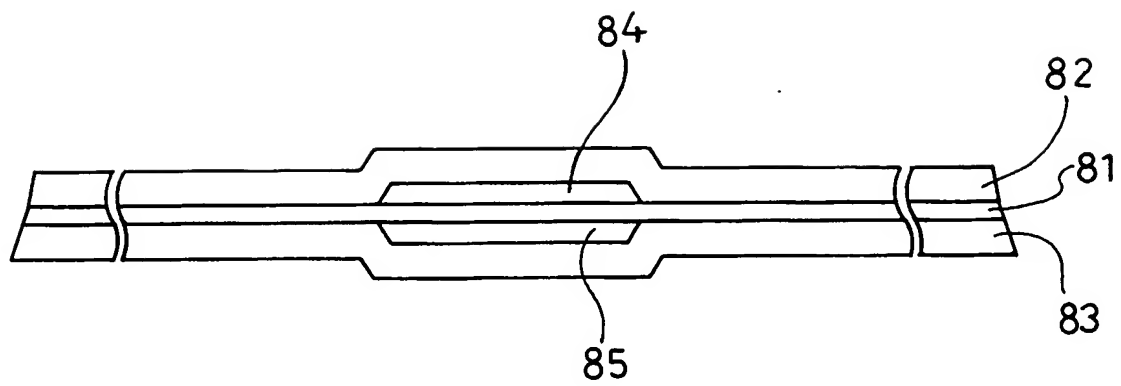


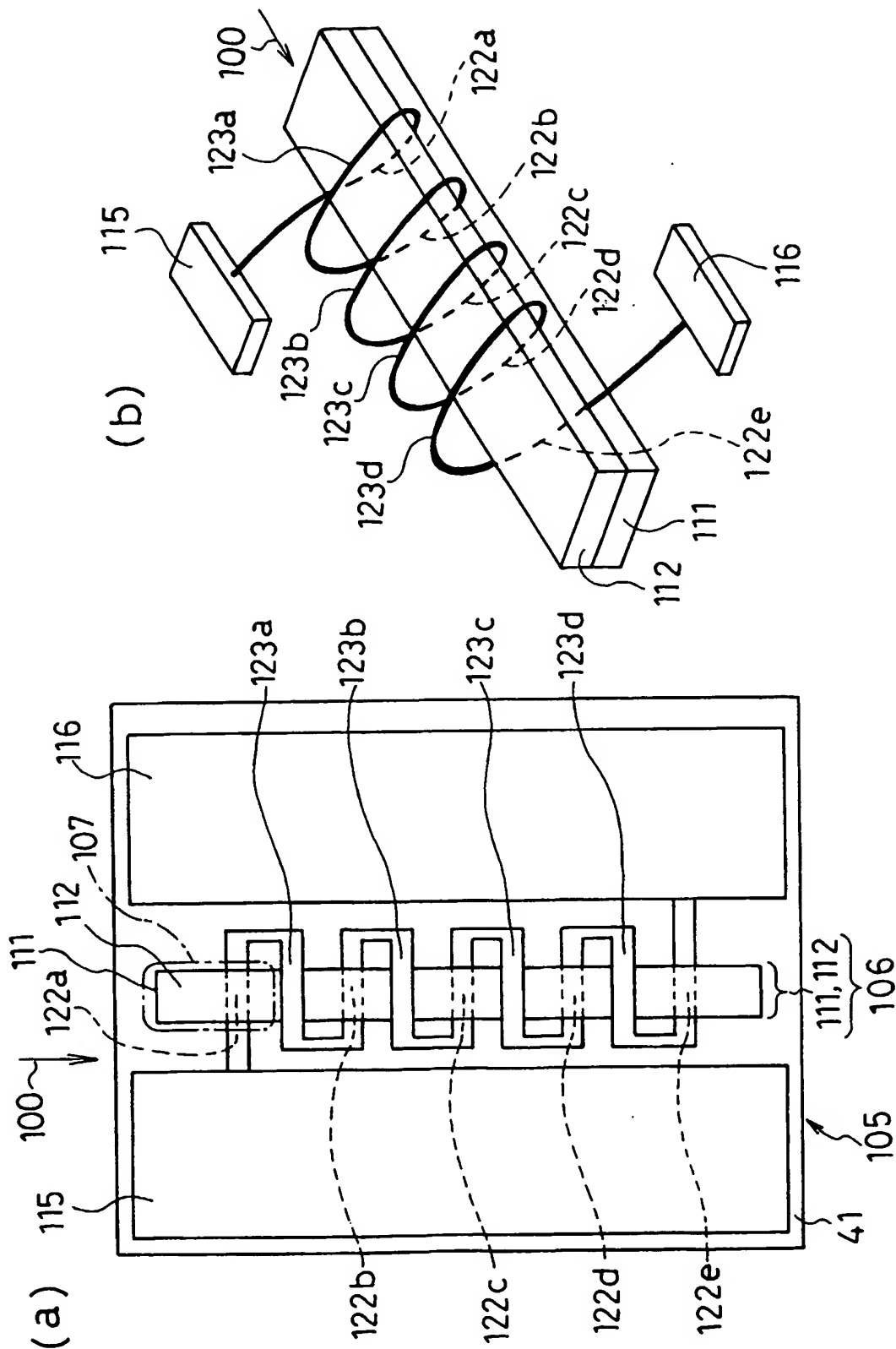
(c)

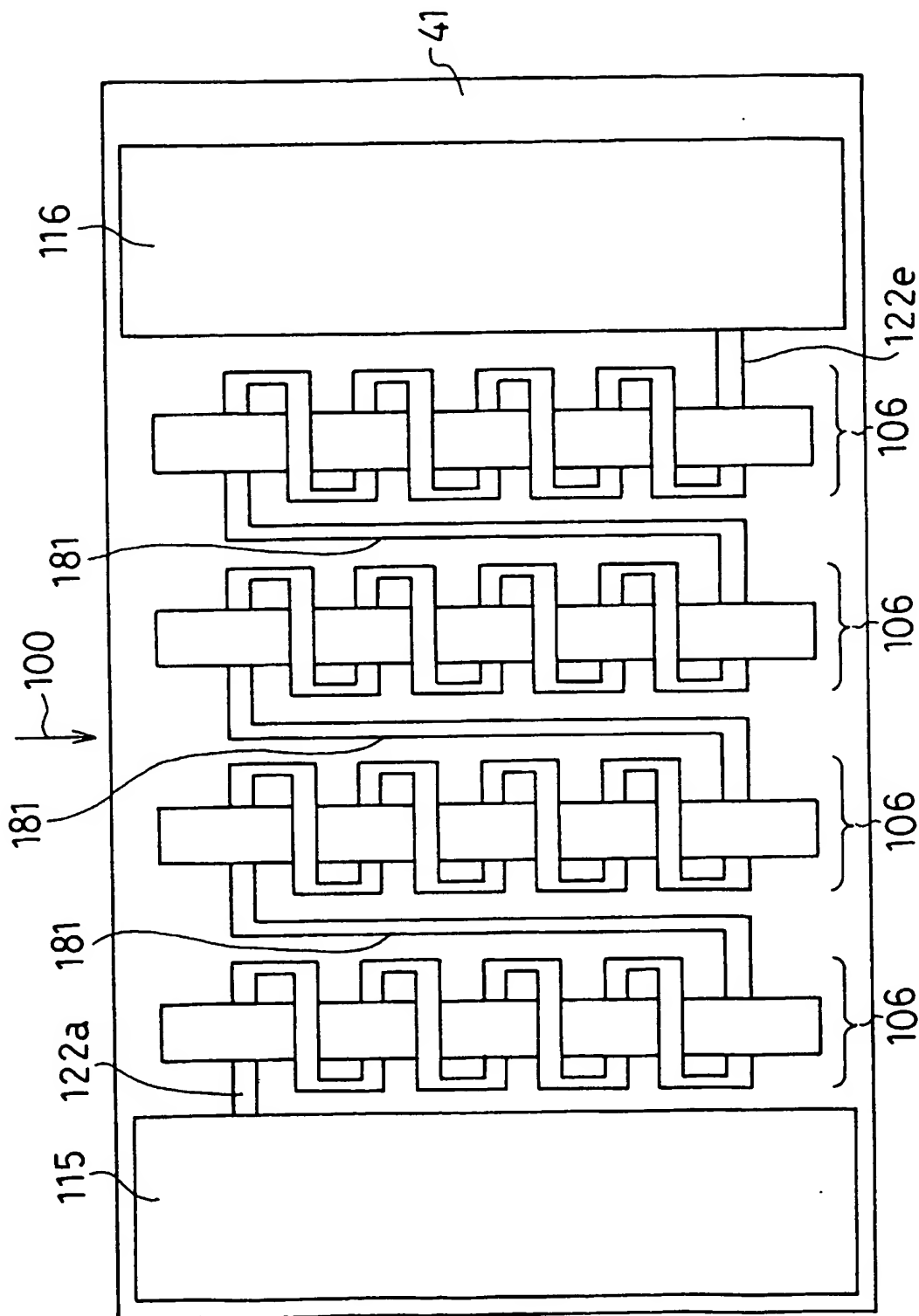


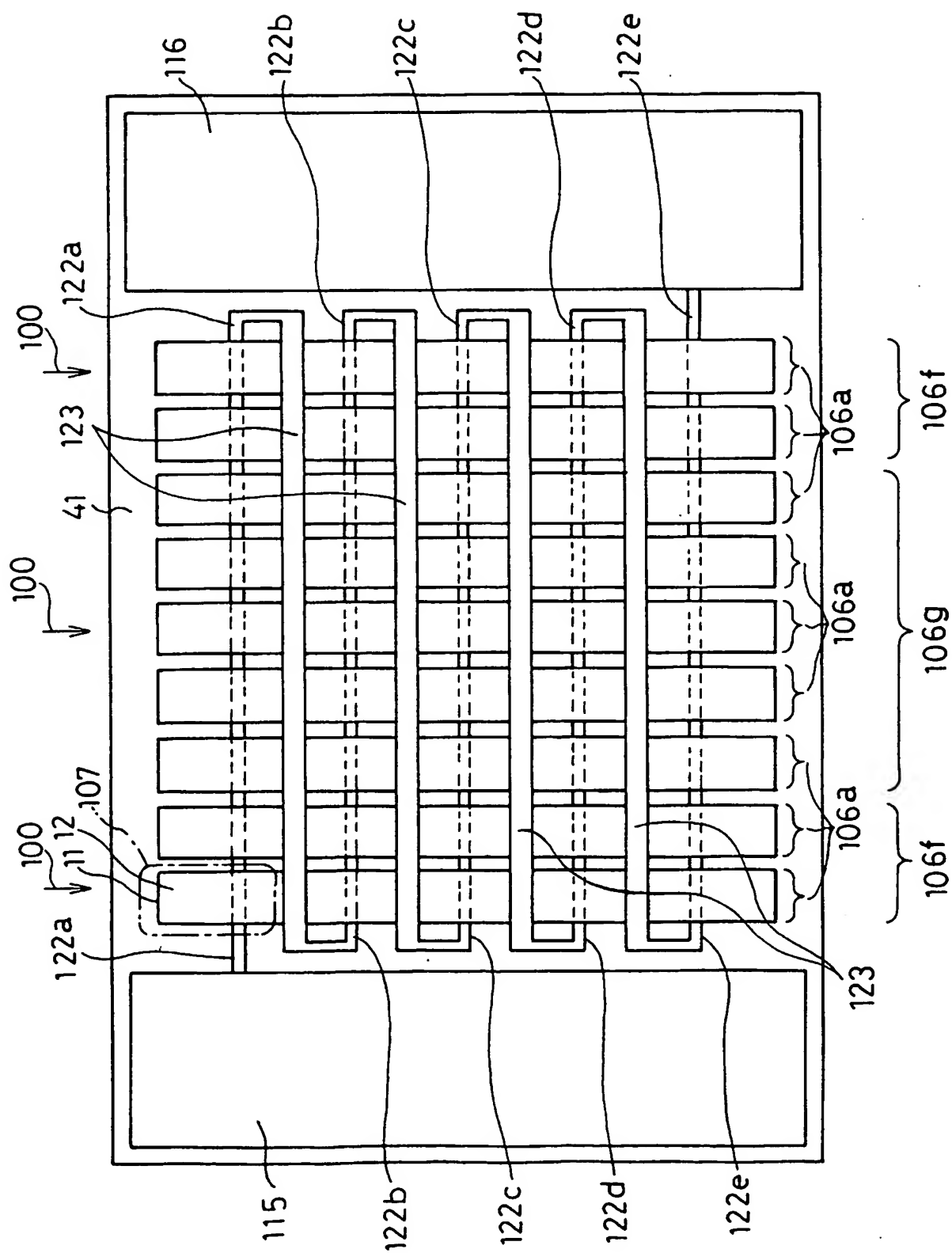
20/33

図 20



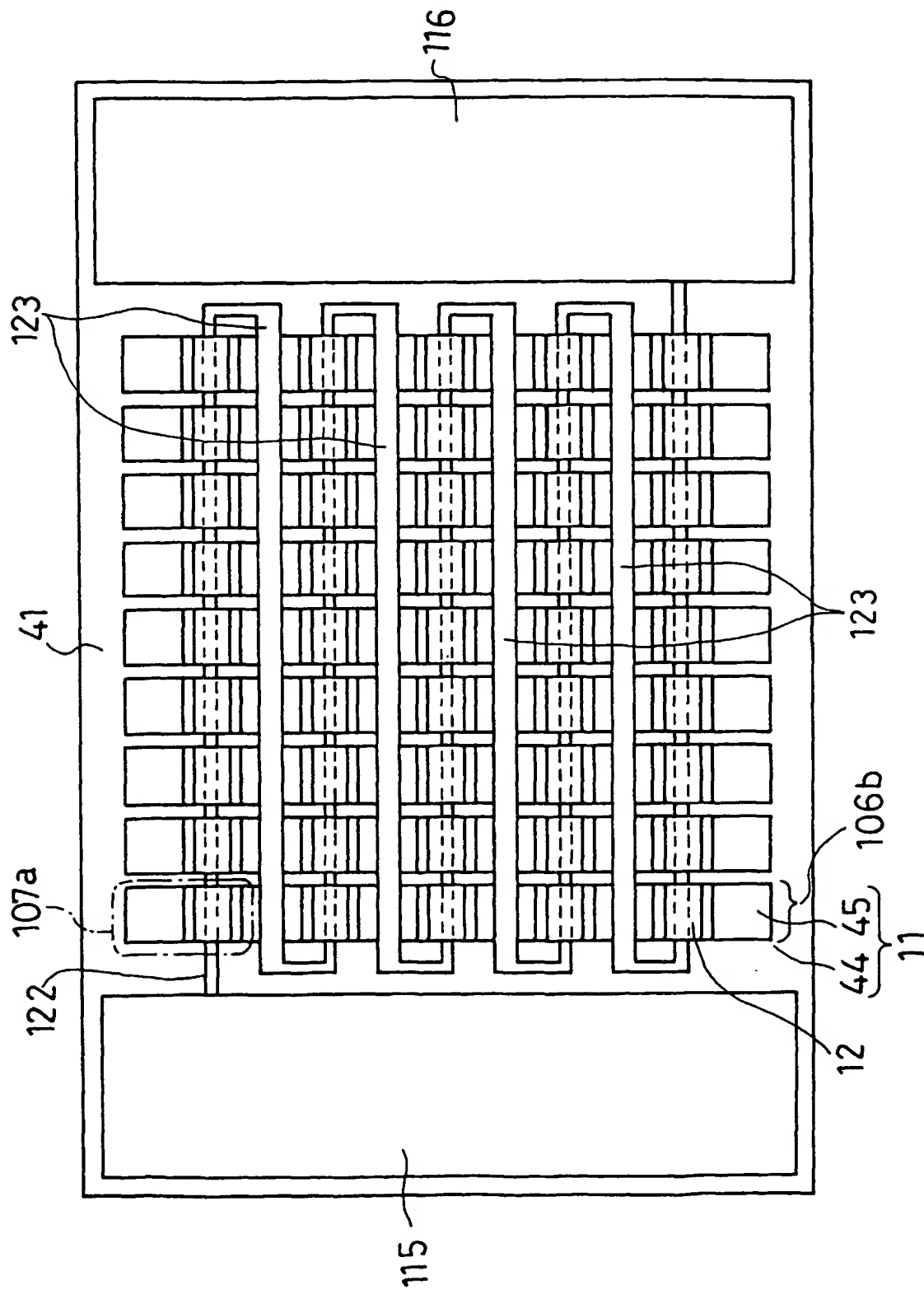


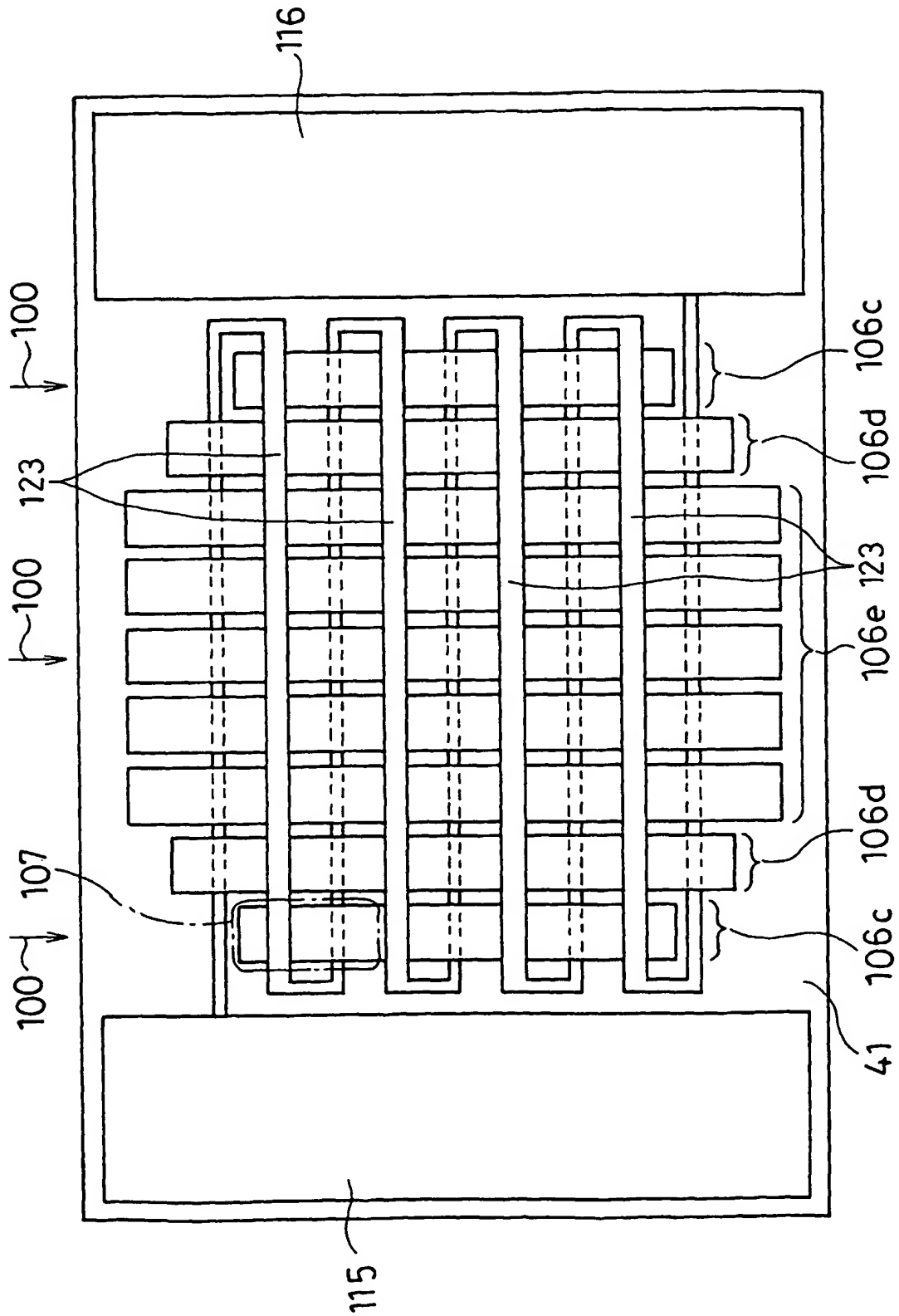


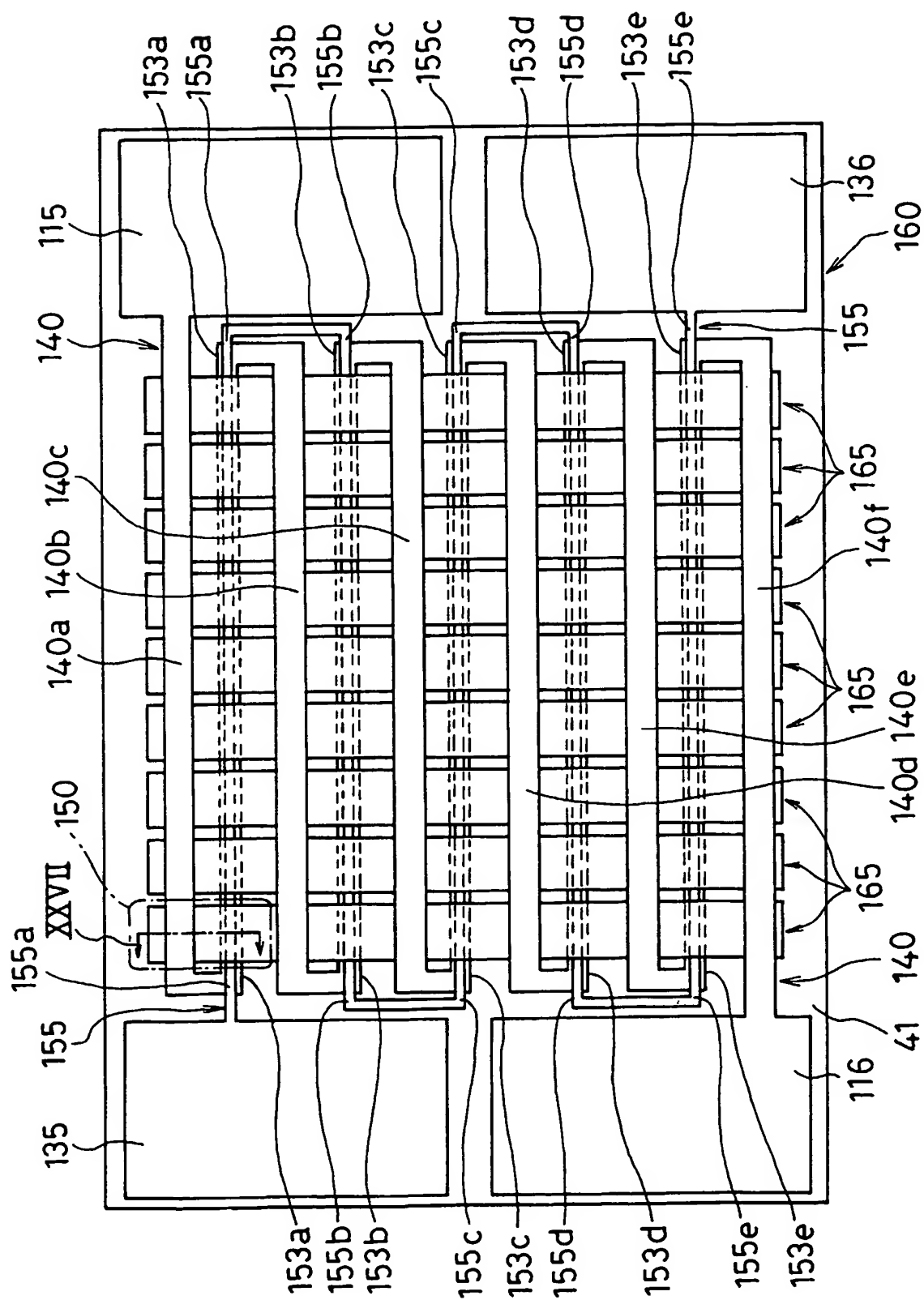


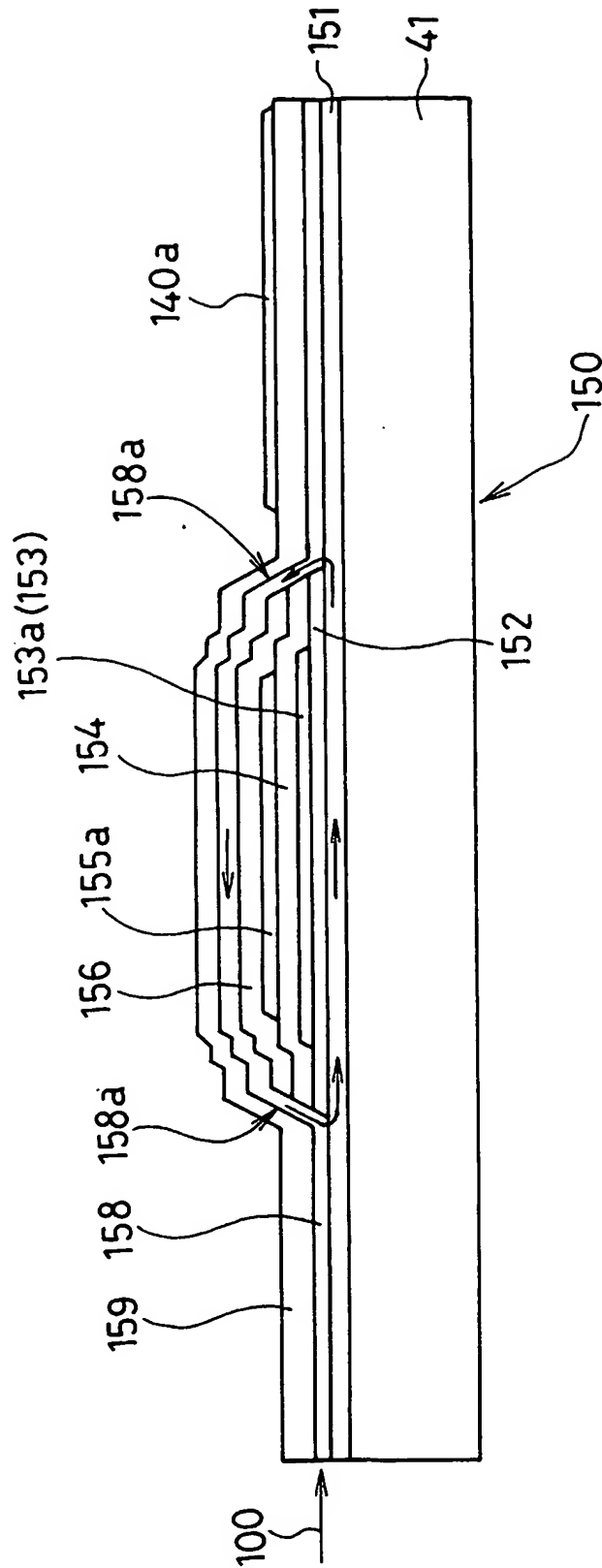
24/33

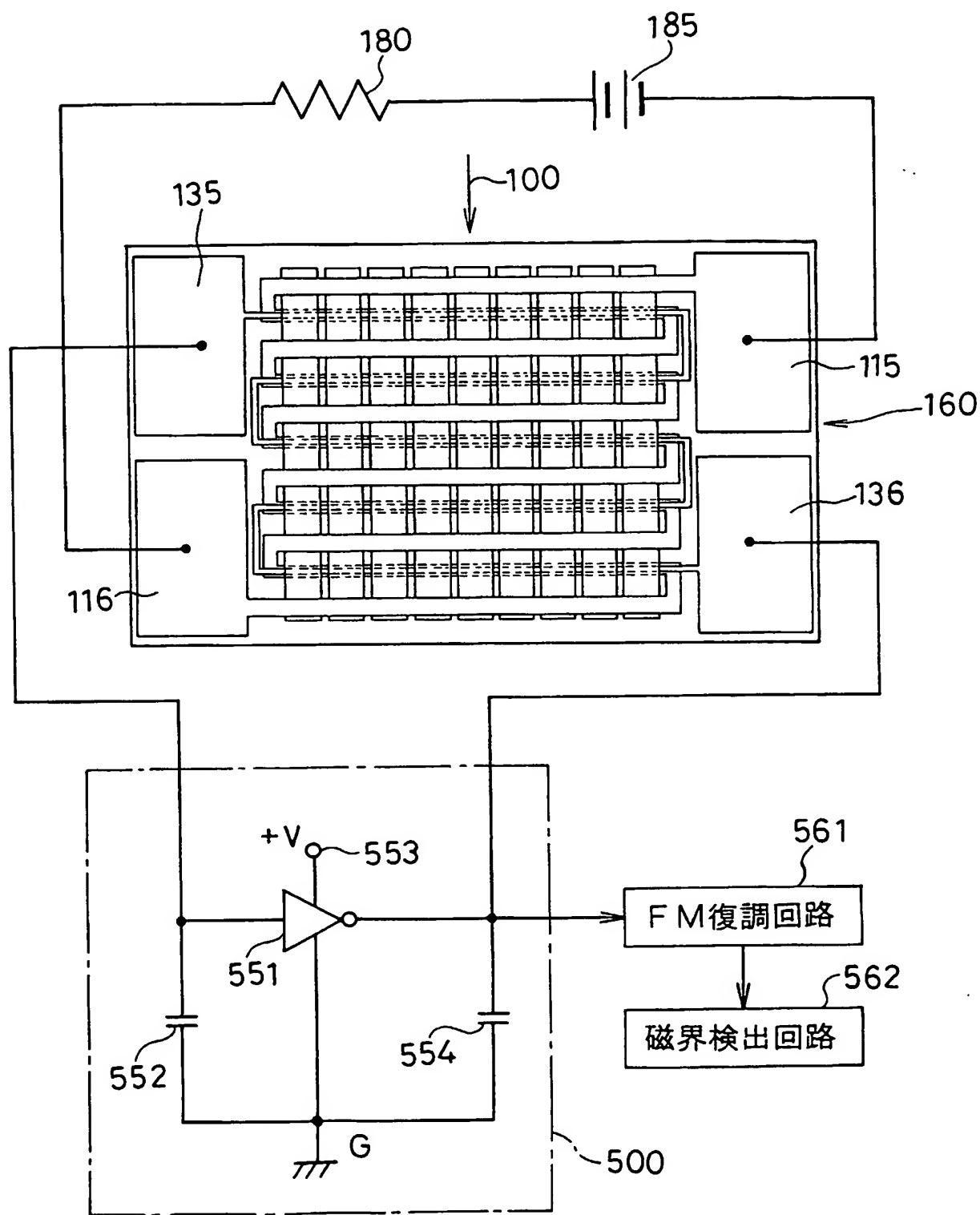
図 24





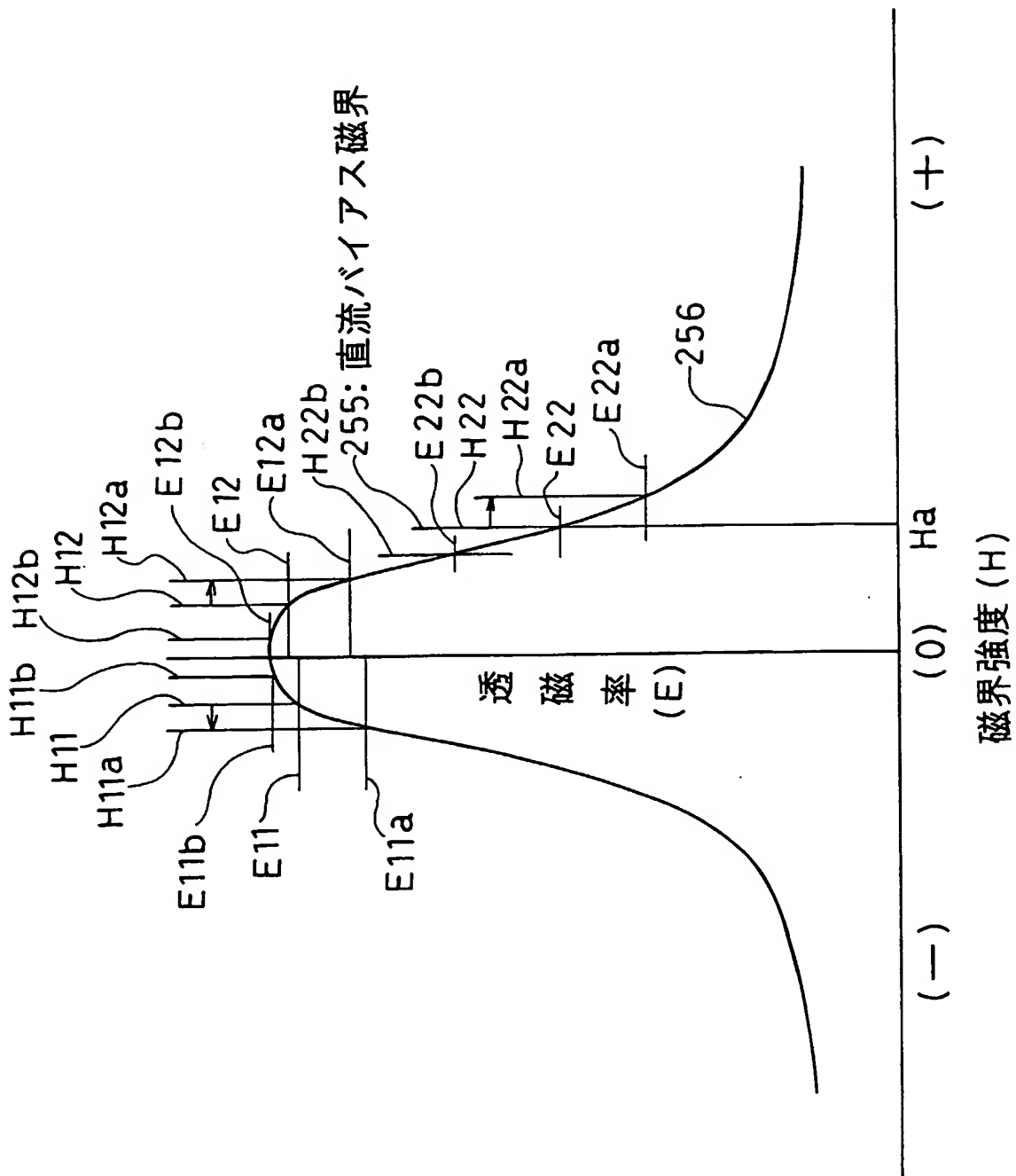






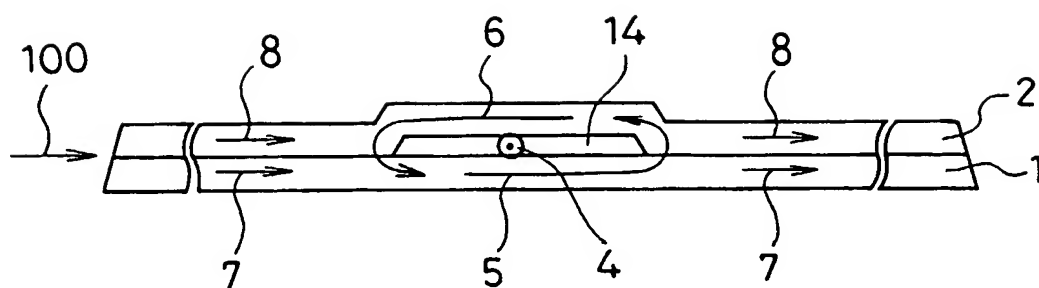
29/33

図 29



30/33

図 30



31/33

図 31

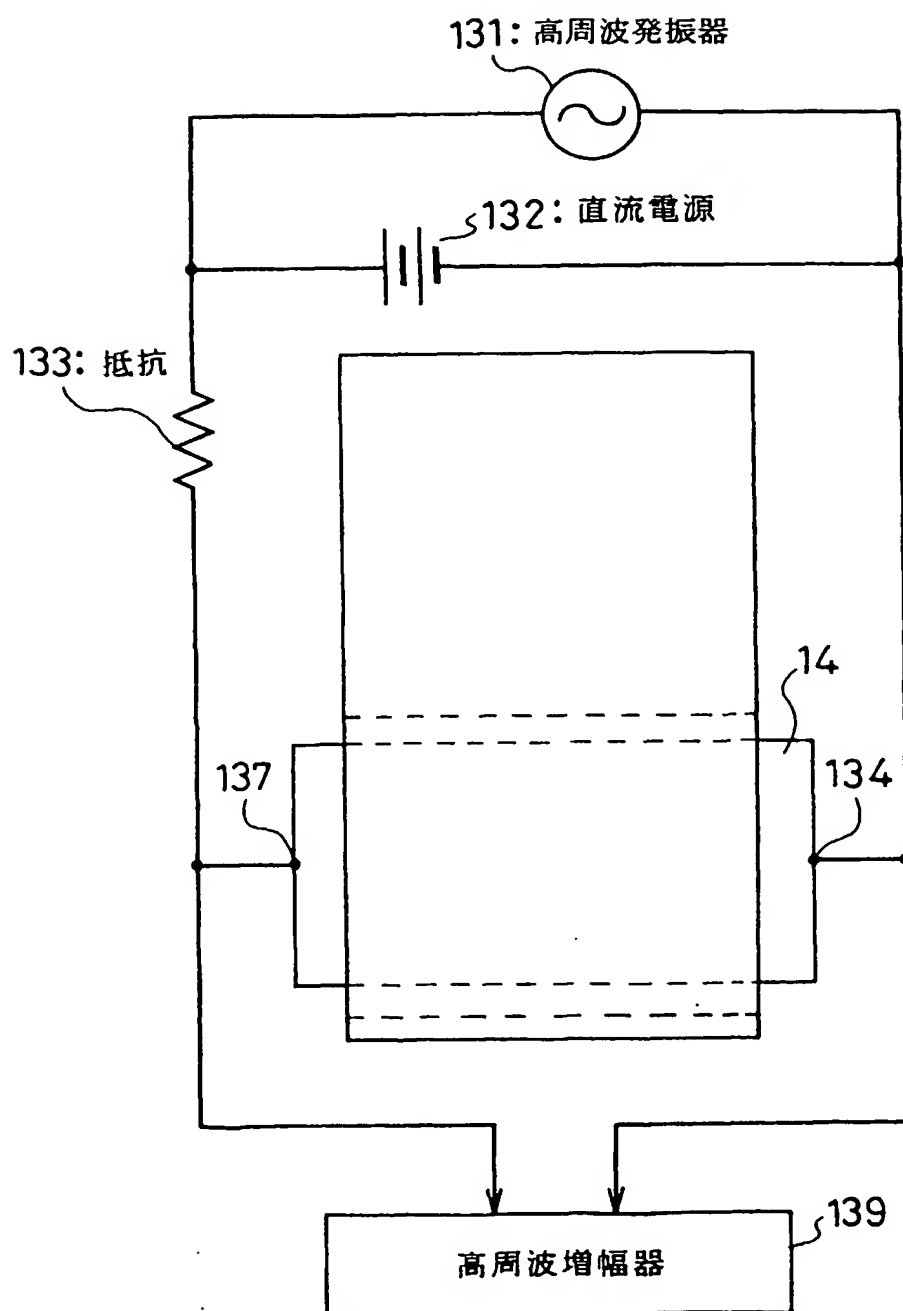
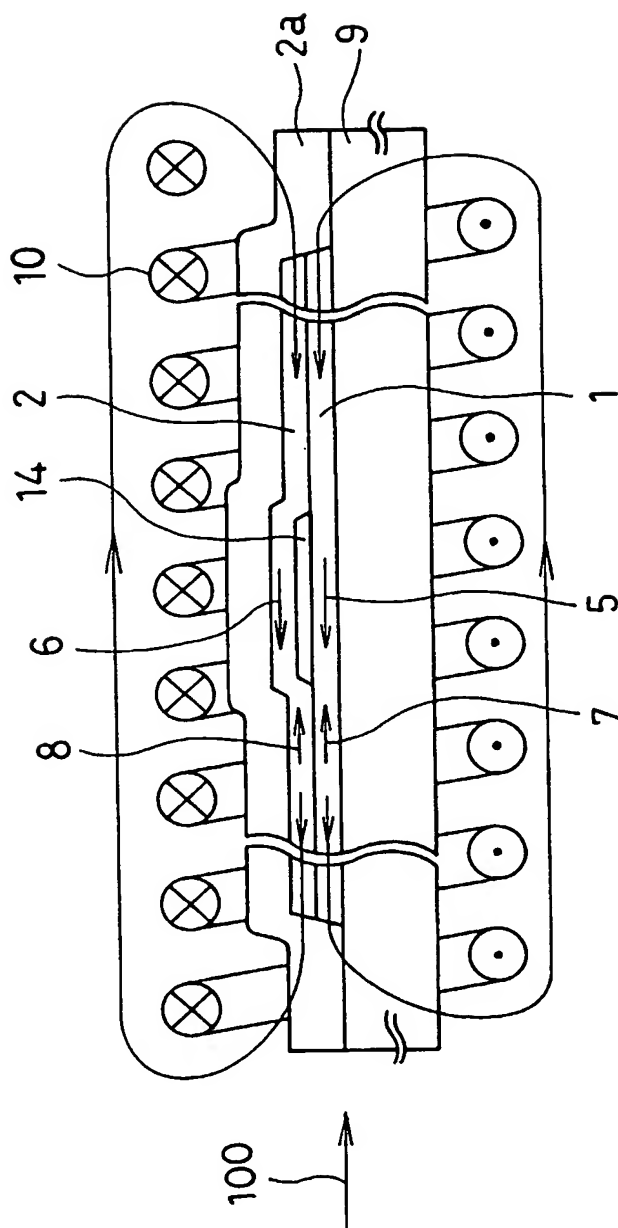
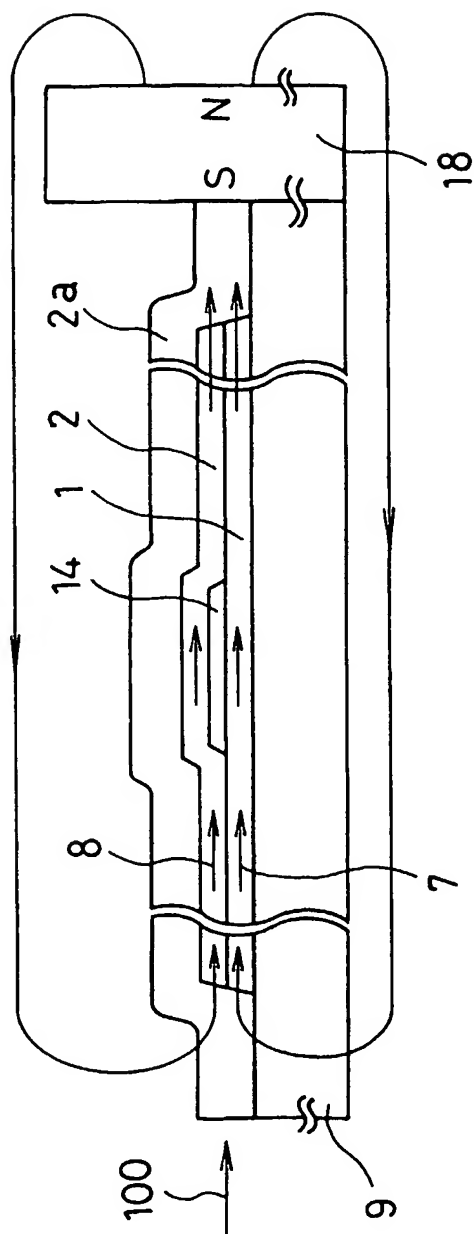


图 32



33/33

図 33



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/03546

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01R33/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01R33/02-10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 5838154 A (Kabushiki Kaisha Toyota Chuo Kenkyusho), 17 November, 1998 (17.11.98), Figs. 3, 14, 19, 29, 30 & JP 8-320362 A	1-4, 9, 10, 13 33-36, 39
X Y	JP 10-90382 A (NEC Tokin Corp.), 10 April, 1998 (10.04.98), Figs. 4, 5 (Family: none)	1-4, 9, 10, 13 33-36, 39
X Y	JP 9-113590 A (Canon Electronics Inc.), 02 May, 1997 (02.05.97), Figs. 4 to 7 (Family: none)	1, 3, 4, 9 33-36, 39

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
18 June, 2003 (18.06.03)Date of mailing of the international search report
01 July, 2003 (01.07.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01R33/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01R33/02-10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	US 5838154 A (Kabushiki Kaisha Toyota Chuo Kenkyusho) 1998. 11. 17, Fig. 3, 14, 19, 29, 30	1-4, 9, 10, 13
Y	& JP 8-320362 A	33-36, 39
X	JP 10-90382 A (エヌイーシートーキン株式会社)	1-4, 9, 10, 13
Y	1998. 04. 10, 図4, 5 (ファミリーなし)	33-36, 39
X	JP 9-113590 A (キヤノン電子株式会社)	1, 3, 4, 9
Y	1997. 05. 02, 図4-7 (ファミリーなし)	33-36, 39

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 06. 03

国際調査報告の発送日

01.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中村 直行

2S

3005

電話番号 03-3581-1101 内線 3258